



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

항공기소음 평가단위간 비교 분석 및 상관관계에 관한 연구

Comparison and Correlation Analysis of
Aircraft Noise Assessment Units

2017 년 8 월

서울대학교 대학원
기계항공공학부
김 경 범

요 약(국문초록)

본 연구에서는 국내 $WECPNL_K$ 와 많은 나라에서 사용 중인 L_{eq} 계열의 항공기소음 평가단위인 $Total L_{den}$ 과 $Event L_{den}$ 을 비교함으로써 $WECPNL_K$ 이 항공기소음으로 인한 수음자의 피해를 적절히 평가하는지 검토하였다. 또한 국외의 소음도 기준과의 정량적인 비교와 국내 항공기소음 평가단위 전환시 활용하기 위해 $WECPNL_K$ 과 $Event L_{den}$ 의 식으로부터 이론적인 상관관계를 도출하였으며, 회귀분석을 통하여 환산식을 도출하였다.

항공기소음 평가단위를 다양한 소음 패턴의 반영, 배경소음도, 지속시간 측면에서 검토하였다. $WECPNL_K$ 는 군용 항공기 소음의 이벤트 중첩을 평가하기에는 부적절하며, 항공기소음의 지속시간이 30초 이하일 경우 수음자가 실제로 인지하는 소음도를 적절히 평가하지 못하는 것을 확인하였다. 또한 30초 부근의 지속시간에 대해서는 불연속적인 보정으로 인해 부정확한 소음도를 산출할 우려가 있다. $Total L_{den}$ 은 배경소음의 영향으로 인해 항공기소음을 적절히 평가하기 못하며 종합적으로 판단할 때 $Event L_{den}$ 이 국내 항공기소음 평가단위로 가장 적합하였다..

$WECPNL_K$ 과 $Event L_{den}$ 의 식으로부터 상관관계를 이론적으로 유도하였다. 항공기소음 이벤트를 삼각형 형태로 가정하여 유도된 식을 통해 최고소음도 평균($\overline{L_{max}}$), 운항횟수, 소음도의 변화율의 $WECPNL_K$ 과 $Event L_{den}$ 간 상관관계에 대한 영향을 확인하였다.

성남 비행장을 포함한 7개 군사 공항 인근 80개 지점의 소음 데이터와 자동측정망을 통해 측정된 김포 공항, 제주 공항, 광주 공항 인근 25개 지점의 소음도 데이터를 이용하여 공항별 회귀분석을 실시하였다, 각 공항의 용도에 따라 회귀분석 결과가 유사

함을 확인하였으며 이론적 상관관계를 통해 예측한 결과와 그 경향성이 일치하였다.

주요어 : 항공기소음 측정지수, 항공기소음 평가단위, 항공기소음 평가단위 환산, $WECPNL$, L_{eq} , L_{den}

학 번 : 2015-22729

목 차

요 약(국문초록)	i
목 차	iii
그림 목차	iv
표 목차	vi
1. 서 론	1
1.1. 연구 배경 및 필요성	1
1.2. 연구 범위 및 목적	5
2. 본 론	7
2.1. 항공기소음 평가단위 비교 분석	7
2.1.1. 항공기소음 평가단위	7
2.1.2. 항공기소음 분석 대상	19
2.1.3. 항공기 소음 패턴	24
2.1.4. 배경소음도의 영향	26
2.1.5. 지속시간의 영향	31
2.2. WECPNL _K 과 Event Lden의 상관관계	34
2.2.1. 이론적 상관관계	34
2.2.2. 회귀분석	44
2.2.3. 이론적 상관관계와 회귀분석 결과 비교	48
3. 결 론	49
참 고 문 헌	51
Abstract	53

그림 목차

그림 1 일본의 연구결과 - WECPNL 과 Lden 간의 상관관계	4
그림 2 감각소음도(perceived noisiness) 곡선	9
그림 3 총 감각소음도와 감각소음레벨의 함수 관계	11
그림 4 WECPNL _{LCAO} 의 지속시간 정의	17
그림 5 WECPNL _K 의 지속시간 정의	17
그림 6 김포국제공항 소음 자동측정망 측정지점	21
그림 7 제주국제공항 소음 자동측정망 측정지점	22
그림 8 광주공항 소음 자동측정망 측정지점	23
그림 9 민간 항공기의 발생 소음 패턴	25
그림 10 군용 항공기의 발생 소음 패턴	26
그림 11 김포국제공항 측정지점별 WECPNL _K 평균 소음도	28
그림 12 김포국제공항 측정지점별 Total Lden 평균 소음도	28
그림 13 김포국제공항 측정지점별 Event Lden 평균 소음도	29
그림 14 김포국제공항의 측정지점별 배경소음도	30
그림 15 김포국제공항의 측정지점별 Total Lden과 WECPNL _K 의 차이	30
그림 16 김포국제공항의 측정지점별 Event Lden과 WECPNL _K 의 차이	31
그림 17 항공기 소음에 의한 에너지의 고려	36
그림 18 k에 의한 WECPNL _K 과 Lden의 영향	38
그림 19 삼각형 형태의 이벤트 가정	39

그림 20	최고소음도의 평균에 따른 WECPNL _K 과 Lden의 차이	40
그림 21	최고소음도와 k의 상관관계	41
그림 22	소음도 변화율에 의한 상관관계의 경향①	42
그림 23	소음도 변화율에 의한 상관관계의 경향②	42
그림 24	운항횟수에 의한 상관관계의 경향①	43
그림 25	운항횟수에 의한 상관관계의 경향②	44
그림 26	회귀분석 결과	45
그림 27	공항별 회귀분석 결과 비교①	46
그림 28	공항별 회귀분석 결과 비교②	46
그림 29	이론적으로 예측한 WECPNL _K 과 Lden의 상관관계 경향성과 회귀분석 결과 비교	48

표 목차

표 1 세계 주요 국가들의 항공기소음 평가단위	3
표 2 등가 에너지 원리 기준형 단위의 구분	8
표 3 항공기소음 분석 대상 공항	20
표 4 김포 국제공항 소음 자동측정망 설치 위치	21
표 5 제주 국제공항 소음 자동측정망 설치 위치	22
표 6 광주공항 소음 자동측정망 설치 위치	23
표 7 국내 공항 현황	24
표 8 국내 군용 비행장 현황	24
표 9 국내 민항기와 군용기의 발생소음 특징 비교	25
표 10 WECPNL _K 의 지속시간에 대한 영향	32
표 11 회귀분석 결과	45

1. 서 론

1.1. 연구 배경 및 필요성

항공기술의 발전과 함께 여가활동에 대한 관심의 증가로 항공기 이용이 급증하고 있다. 한국공항공사의 통계자료에 의하면 2016년 한 해 동안 국내 공항의 운항 편수는 820,858 편으로 2006년 467,701 편 대비 75% 이상 증가했으며, 여객 인원은 136,285,050으로 2006년 대비 101% 증가하였다[1].

이처럼 운송수단으로써 항공기는 보편화되었고, 이에 따라 항공기로 인한 소음문제가 사회적인 문제로 대두고 있다. 소음에 의한 부정적인 영향은 불쾌감과 같은 정신적인 측면뿐만 아니라 수면장애, 청력장애와 같은 건강상의 문제를 야기하기도 하며, 소득을 위해 사육하는 가축, 어류 등에 대한 소음피해와 같이 경제적인 피해도 야기하기 때문에 이러한 문제를 해결하기 위한 대책 마련이 시급하다.

특히 우리나라의 경우 소음이 심한 군용 공항의 비율이 높고, 도시가 팽창함에 따라 많은 공항이 도심과 인접하고 있어 그로 인한 분쟁이 끊이지 않고 있다. 보도 자료에 의하면 2005년부터 2016년 9월까지 수원 군 공항의 소음피해로 인한 보상액은 1400억 원에 달할 정도이다. 국내에서 운용중인 모든 공항의 피해를 고려한다면 국가차원의 손실임이 분명하다.

항공기 소음으로 인한 공항 인근 주민들의 피해를 최소화하고 분쟁을 해결하기 위해 정부에서는 피해주민 보상 및 방음시설 설치 등 항공기 소음 관련 정책을 수립하여 다양한 노력을 하고 있다.

항공기소음 평가단위는 이러한 분쟁과 관련 정책 수립에 있어

서 항공기 소음으로 인한 피해를 평가하는 지표로 활용된다. 이를 위해서는 항공기 소음 평가단위가 수음자의 소음피해를 적절히 평가하는지에 대한 신뢰도가 바탕이 되어야 할 것이나, 현행 항공기소음 평가단위에 대한 문제가 제기되어 왔다[2][3].

항공기는 자국의 국적기 뿐만 아니라 타국의 국적기도 상당수의 비율을 차지하고, 국가간을 운항하는 특징으로 인해 항공 관련 규제나 지침은 국제적 추세를 따르는 경향이 있다. 그러나 미국을 포함한 세계 주요 국가들이 소음의 에너지 평균에 기반한 L_{Aeq} 계열의 단위를 항공기소음 평가단위로 채택하고 있지만, 우리나라와 중국만이 *WECPNL*을 사용하고 있어 국제사회의 환경기준 및 규제기준과 정량적인 비교가 어려운 실정이다. 세계 주요 국가들의 항공기소음 평가단위 및 소음도 기준을 <표 1>에 나타내었다[4].

또한, 도로소음 및 생활소음 등 국내 타 환경소음의 평가단위는 L_{Aeq} 에 기반한 단위를 사용하고 있어 항공기소음을 이러한 소음 발생원과 상호비교연구 및 통합기준 마련 시 문제가 되고 있다.

국가	대상	분류	단위	소음 한계
한국	민간	환경 기준	$WECPNL$	75 $WECPNL$ 57 dB : 주거 전용 지역
일본	민간	환경 기준	L_{den}	62 dB : 통상 생활 보전 지역
영국	민간	환경 기준	NNI $L_{Aeq,16h}$	55 $NNI(66L_{Aeq,16h})$: 주거 지역
미국	민간	환경 기준	L_{den} L_{AE}	L_{den} : 65 dB L_{AE} : 수면 방해
	군사	규제 기준	L_{dn}	65 dB
프랑스	민간	규제 기준	L_{den}	zone A : 70 dB
				zone B : 62 - 70 dB
				zone C : 57 - 65 dB
				zone D : 50 - 57 dB
독일	민간·군사	규제 기준	$L_{Aeq,16h}$	buffer zone 1 : 75 dB
				buffer zone 2 : 67dB

표 1 세계 주요 국가들의 항공기소음 평가단위

본래 국내에서 사용되는 $WECPNL$ 은 일본이 측정의 용이성을 위해 국제민간항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)에서 제안한 $WECPNL$ 을 간략화한 단위이다, 일본은 1973년 $WECPNL$ 을 항공기소음 평가단위 채용하여 사용해왔으나, 2013년부터 L_{den} 으로 항공기소음 평가단위를 전면 개정하였다. 우리나라에서 사용하고 있는 $WECPNL$ 을 처음 사용한 일본마저 L_{den} 으로 평가단위를 변경함에 따라 현행 $WECPNL$ 유지의 당위성에 대한 의문이 제기되고 있으며, 일본의 항공기소음 평가단위 변경에 대한 배경을 검토할 필요성이 제기되고 있다. 본 연구에서는 ICAO의 $WECPNL$ 을 $WECPNL_{ICAO}$ 라 표기하였으며, 국내에서 사용되는 $WECPNL$ 은 $WECPNL$ 혹은 $WECPNL_K$ 라 표기하였다.

일본은 2002년 나리타 국제공항의 활주로 확장 후 A활주로의

B활주로 전체의 $WECPNL$ 값이 확장 이전 A활주로만의 $WECPNL$ 값을 밑도는 역전 현상을 계기로 $WECPNL$ 에 대한 검토를 실시하였고, 그 결과 이러한 역전 현상이 ICAO의 $WECPNL_{ICAO}$ 을 간략화한 $WECPNL$ 의 계산상 오차라는 것으로 결론내리고 평가 단위 변경을 결정하였다.

일본 항공환경연구센터(Aviation Environment Research Center)의 Ichiro Yamada를 중심으로 수행된 $WECPNL$ 과 L_{den} 간 환산에 관한 연구 결과[5]를 토대로 -13의 환산치를 적용하여 .75 $WECPNL$ 과 70 $WECPNL$ 로 설정되어있던 환경기준을 L_{den} 기준 62 dB(A), 57 dB(A)으로 변경하였다.

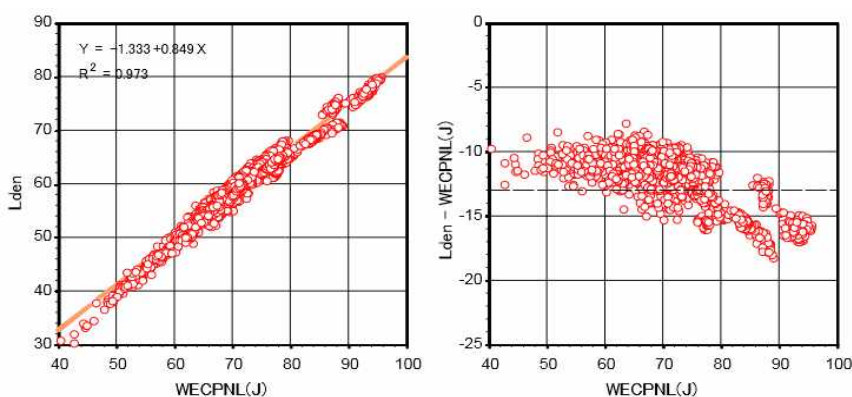


그림 1 일본의 연구결과 - $WECPNL$ 과 L_{den} 간의 상관관계

하지만 국내 $WECPNL_K$ 은 일본의 $WECPNL$ 과 달리 항공기 소음의 지속시간이 30초 이상일 경우 보정치를 적용하므로 일본의 환산식과는 차이가 발생할 것이다. 또한 일본의 환산식 도출을 위해 실시한 회귀분석은 데이터 표본에 따라 결과가 달라지기에 운행 기종과 운행 조건의 차이, 군용 공항의 비율 등을 고려하기 위해 국내 공항 인근 소음도 데이터를 활용한 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 상관관계에 관한 연구가 필요하다.

국내 소음 데이터를 이용한 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 간의 상관관계에 관한 연구[6][7]가 진행되었으나 분석에 사용된 데이터의 수가 제한적이며, 이전의 연구 결과들은 단순히 회귀분석만을 수행해 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 상관관계에 대한 이론적이 설명이 부족하다.

따라서 본 연구에서는 많은 데이터를 회귀분석에 활용함으로써 환산식의 신뢰도를 높이고, 이론적인 근거를 제시하고자 한다.

1.2. 연구 범위 및 목적

본 연구의 목적은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째는 세계적으로 가장 많이 사용되는 항공기소음 평가단위인 L_{den} 과 $WECPNL_K$ 을 비교하여, $WECPNL_K$ 이 수음자의 소음피해를 적절히 평가하는지 검토하는 것이며, 둘째는 국내 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 간의 정량적인 비교를 위한 상관관계를 도출함으로써 공항 소음으로 인한 분쟁 해소에 이바지하고 관련 정책 마련에 기여하는 것이다.

이를 위해 먼저 군용 공항이 많은 우리나라의 상황을 고려하여 공항의 용도별 항공기 소음의 특징을 파악하고, L_{den} 과 $WECPNL$ 이 이러한 공항별 소음의 특징을 적절히 평가하는지 비교분석하였다. 기존에 $WECPNL$ 의 문제로 제시되었던 지속시간에 의한 영향을 살펴보았으며, 국내 다수의 공항이 배경소음도가 높은 도심 인근에 위치하고 있다는 것을 고려하여 배경소음도 측면에서 $WECPNL$ 과 L_{den} 을 검토하였다.

다음으로 $WECPNL$ 과 L_{den} 의 상관관계를 이론적으로 규명하였고, 주요 변수들의 영향을 확인하였다. 이에 추가로 공항 인근에서 측정된 소음도 데이터를 이용하여 공항별로 $WECPNL$ 과 L_{den}

의 회귀분석을 실시하였으며, 앞서 이론적으로 유도된 상관관계와 비교하였다.

2. 본 론

2.1. 항공기소음 평가단위 비교 분석

2.1.1. 항공기소음 평가단위

항공기 소음을 평가하기 위해 다양한 단위가 사용된다. 하지만 항공기 소음은 특정 기간에 걸쳐 여러 회 발생하는 특징을 갖기 때문에 항공기 소음을 평가하기 위해 사용되는 단위는 일반적인 소음 평가단위와 개념이 다르므로 항공기소음 평가단위에 대해 간략히 설명하고자 한다.

항공기소음 평가단위는 평가 원리에 따라 두 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 발생된 총 소음에너지의 합의 비교로 인간에 들리는 소음의 크기를 판별하는 에너지 등가원리 기준형이며, 둘째로 가장 큰 소음도를 가진 소음원의 영향이 크다는 가정을 통한 최고 소음도 기준형이다.

에너지 등가 원리는 높은 소음도에 간헐적으로 노출된 경우와 낮은 소음도에 자주 노출된 경우 수음자의 반응은 동일하다는 원리이다. 이 원리를 적용한 평가지수는 기술적 정확도와 완성도가 높기 때문에 공항 주변 토지 이용 계획이나 소음 관리 정책을 위한 소음 등고선 작성에 적합하다. 그러나 계산 방법이 복잡하여 일반인들이 이해하기가 어려우며, 계산이 쉽지 않은 단점이 있다. 대표적인 에너지 등가 원리 기준형 단위는 L_{Aeq} 계열의 L_{dn} 과 L_{den} 그리고 $EPNL$ 계열의 $WECPNL_{ICAO}$ 가 있다.

최고 소음도 기준형 평가지수는 최고 소음도를 사용하므로 계산과정이 간단하고 일반인들이 이해하기가 쉽다. 그러나 여러 가정을 통하여 간략화 과정을 거친 평가지수이기 때문에 소음 발생 패턴이 복잡해지거나 지속시간이 긴 경우 정확도가 낮아질 수 있

다. 국내 $WECPNL_K$ 이 대표적인 최고 소음도 기준형 단위에 속한다.

등가 에너지 원리 기준형 단위는 다시 소음의 크기(loudness)를 평가하느냐 혹은 소음의 시끄러움(noisiness)을 평가하느냐에 따라 분류할 수 있다. 소음의 순간적인 크기(loudness)를 평가하는 단위가 L_A 이다. 여기서 첨자 A는 정감 보정 회로 중 A특성(A-weighted)을 의미한다. 소음의 크기(loudness) 뿐만 아니라 인간의 귀가 주파수 대역에 따라 느끼는 불쾌감, 즉, 시끄러움(noisiness)을 평가하는 단위는 PNL 이다. 순간적인 소음을 평가하는 각 단위를 기반으로 특정 시간동안 지속적으로 발생하는 소음을 평가하는 단위가 L_{AE} 와 $EPNL$ 이다.

항공기 소음은 일정한 지속시간을 갖는 이벤트 형식으로 하루 혹은 일주일에 걸쳐 간헐적으로 발생하는 특징을 갖는다. 이러한 특징을 고려한 단위가 L_A 기반의 L_{dn} 과 L_{den} 이며, PNL 기반의 $WECPNL_{ICAO}$ 이다. 앞서 설명한 내용을 <표 2>에 간략하게 나타내었다.

표 2 등가 에너지 원리 기준형 단위의 구분

	Loudness	Noisiness
Instantaneous Sound	L_A	PNL
Single Event	L_{AE}	$EPNL$
Cumulative Events	L_{dn}, L_{den}	$WECPNL_{ICAO}$

1장에서 언급했다시피 국내 $WECPNL_K$ 은 $WECPNL_{ICAO}$ 을 간략화한 단위이다. 본 논문의 이해를 위해 $WECPNL_{ICAO}$ 의 계산 과정을 절차에 따라 설명하고 이에 이어서 국내 $WECPNL_K$ 에 대해 설명하도록 하겠다.

2.1.1.1. PNL(perceived Noise Level)

일반적으로 제트 항공기의 소음은 프로펠러 항공기 소음에 비해 음압레벨(dBA)은 작더라도 더욱 시끄럽게 인지되는 것으로 알려져 있다. K. D .Kryter은 항공기의 소음의 주파수 특징을 고려하여 항공기 소음의 감각 반응을 표현한 새로운 항공기소음 평가단위로서 *PNL*(Perceived Noise Level)을 제안하였다.

*PNL*은 시끄러움에 대한 척도를 실험적으로 정의한 Noy값을 이용하여 산출한다. 측정된 소음 데이터의 Noy값을 정의하기 위해서 한 대의 항공기에 의해 발생하는 소음을 1/3-옥타브대역으로 분석하여 각 대역별 음압레벨을 구하고, 각 주파수 밴드의 음압레벨에 <그림 2>의 감각소음도 곡선에서 해당하는 Noy값을 판독한다[8]. 1Noy는 1 kHz의 중심 주파수를 가진 음이 40 dB의 음압도를 가진 경우로 1 Noy = 40 PNdB를 뜻하며, 2 Noy인 경우 시끄러움이 2배로 증가함을 의미한다.

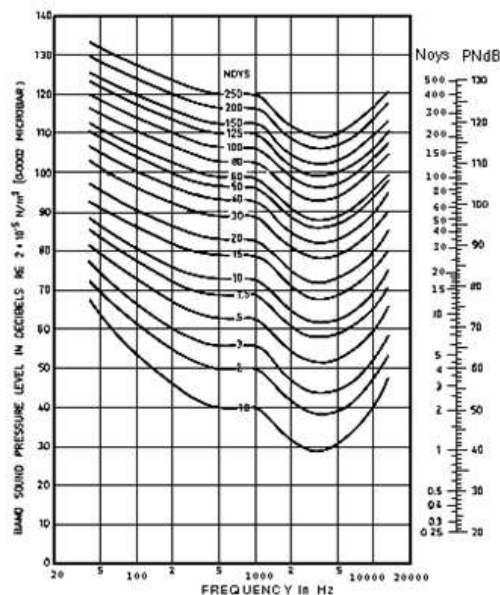


그림 2 감각소음도(perceived noisiness) 곡선

50 ~ 10,000 Hz는 1/3-옥타브 대역으로 나누면 총 24개의 주파수 대역으로 세분화된다. 이를 이용하여 총 감각 소음도를 다음 식을 통하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} N(k) &= n(k) + 0.15 \left\{ \left[\sum_{i=1}^{24} n(i,k) \right] - n(k) \right\} \\ &= 0.85 n(k) + 0.15 \sum_{i=1}^{24} n(i,k) \end{aligned}$$

- $n(i,k)$: 감각 소음도(perceived noisiness), i -번째 1/3-옥타브 대역에서 k -번째 시점에 발생한 감각소음도
- $n(k)$: 최고 감각 소음도(maximum perceived noisiness), k -번째 순간 시간에 발생한 24개의 1/3-옥타브 대역의 $n(i)$ 값 중 최고값
- $N(k)$: 총 감각 소음도(total perceived noisiness), 24개의 1/3-옥타브 대역의 $n(i,k)$ 값에서 계산된 k -번째 순간 시간의 총 감각소음도

위에서 구한 총 감각 소음도를 이용하여 PNL 을 다음과 같이 최종적으로 계산할 수 있으며, 단위는 $PNdB$ 이다. 이 관계식의 그래프를 <그림 3>에 나타내었다[9].

$$PNL(k) = 40.0 + \frac{10}{\log 2} \log N(k) \approx 40.0 + 33.2 \log N(k)$$

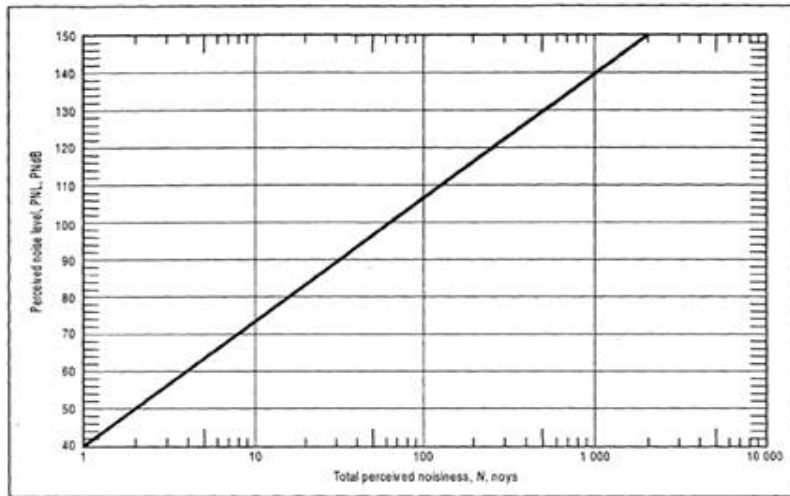


그림 3 총 감각소음도와 감각소음레벨의 함수 관계

위 식들과 같이 PNL 을 산출하기 위해서는 복잡한 주파수 분석 과정을 거치지만, 항공기 소음의 주파수 특성을 반영하여 항공기 소음을 평가할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

2.1.1.2. EPNL(Effective PNL)

$EPNL$ 은 유효 감각 소음레벨로, 항공기 터보팬 엔진의 팬 회전에 따른 고주파의 순음 성분과 소음의 지속시간을 보정하기 위하여 제정된 단위이다.

순음(pure tone)이란, 특정 주파수의 소리가 지배적인 음으로, 일반적인 소음에 비해 순음 성분을 포함한 소리가 더 시끄럽게 느껴진다고 알려져 있다. 이러한 순음 성분을 보정하기 위해 측정된 소음을 1/3-옥타브 대역으로 분석하여 KS A ISO 3891의 절차를 통해 순음보정인자를 산정한다. 산정된 순음보정인자를 PNL 에 더해줌으로써 $TPNL$ (톤 보정 감각소음 레벨, tone corrected perceived noise level)을 구하게 된다. 다음 식에서 C

는 순음 보정인자(tone correction factor)를 의미한다.

$$TPNL = PNL + C$$

앞서 고려한 소음의 순음 성분뿐만 아니라 같은 크기의 소음 일지라도 지속시간이 길어질수록 성가심이 증가하는 것에 대한 보정을 취해 최종적으로 EPNL을 구하게 된다. 다음 식에서 D는 지속시간 보정인자(duration correction factor)를 의미한다.

$$EPNL = TPNL + D$$

지속시간 보정인자(duration correction factor) D는 KS A ISO 3891에서 다음과 같이 정의하고 있다.

$$D = 10 \log \frac{\Delta t}{T_{reg}}$$

$$\Delta t = \frac{t_2 - t_1}{2}, T_{ref} = 10 s$$

$$D = 10 \log \frac{\Delta t}{20}$$

2.1.1.3. ECPNL(Equivalent Continuous PNL)

EPNL은 단일 항공기의 소음에 대한 평가단위이다. 하지만 공항 인근의 소음은 다수 비행기의 이·착륙과 상공통과로 인한 것이기 때문에 이를 1일, 1주, 1년 동안의 항공기 등가 소음레벨로 구하는 것이 ECPNL(Equivalent Continuous PNL, 등가지속 감각 소음레벨)이라 한다.

$$ECPNL = 10 \log \left[\sum_{k=1}^N 10^{\frac{EPNL_k}{10}} \right] + 10 \log \left(\frac{T}{\Delta t} \right) - 10 \log D$$

$$ECPNL = 10 \log \left(\frac{1}{N} \right) \left[\sum_{k=1}^N 10^{\frac{EPNL_k}{10}} \right] + 10 \log N + 10 - 10 \log D$$

$$T = 10 s, \Delta t = 1 s, D = 24 \cdot 24 \cdot 60 = 86400 s$$

$$ECPNL = 10 \log \left(\frac{1}{N} \right) \left[\sum_{k=1}^N 10^{\frac{EPNL_k}{10}} \right] + 10 \log N - 39.4$$

여기에서 D는 1일, 1주, 1년 등 대상 소음의 평가 기간을 의미하고 단위는 초(sec)이다. 시간주기 D 동안 비행한 총 N대 항공기의 *EPNL*을 합산하여 총 *ECPNL*을 구한다.

일반적으로 항공기의 표준 시간 상수 $T = 10$ s, 측정 시간 간격 $\Delta t = 1$ s 로 하고, 시간 주기 D는 1일로 한다.

2.1.1.4. *WECPNL*(Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level)

WECPNL(가중등가지속감각소음도, Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level)은 1971년에 국제민간항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)에서 공포한 항공기소음의 평가단위로, 각 항공기 통과시의 *EPNL* 평균값에 시간대에 따른 가중치와 계절에 대한 보정치를 부여하여 24시간 동안의 등가레벨로 표현한 것이다.

시간대에 따른 보정은 국가마다 상이하나 하루를 주간-야간으로 분할하는 이분할법과 주간-저녁-야간으로 분할하는 삼분할법이 있다. 그 중 주로 사용되는 삼분할법을 적용한 *WECPNL*은 다음과 같다.

$$WECPNL = 10 \log \left[\frac{d}{24} 10^{\left(\frac{ECPNL_d}{10}\right)} + \frac{e}{24} 10^{\left(\frac{ECPNL_e + 5}{10}\right)} + \frac{n}{24} 10^{\left(\frac{ECPNL_n + 10}{10}\right)} \right] + S$$

여기서 $ECPNL_d$ 는 주간 시간대의 *ECPNL*, $ECPNL_e$ 은 저녁 시간대의 *ECPNL*, $ECPNL_n$ 은 야간 시간대의 *ECPNL*을 의미하며, 주간(07:00-19:00), 저녁(19:00-22:00), 야간(22:00-07:00)으로 정하는 경우에 $d=12$, $e=3$, $n=9$ 이다. S는 계절의 특성을 반영한 계절 보정인자이다.

2.1.1.5. 국내 WECPNL

ICAO에서 제안한 $WECPNL_{ICAO}$ 은 앞서 설명한 것과 같이 PNL 을 계산하기 위해서 주파수 분석을 필요로 하며, 여러 보정을 적용하기 위해 복잡한 계산과정을 거쳐야한다. 또한 $WECPNL_{ICAO}$ 이 처음 공표되었을 당시 측정 장비 등의 제한으로 인해 이를 실제 정책에 반영하기는 쉽지 않았다. 1973년 일본은 계산의 편의를 위해 수정한 $WECPNL$ 을 항공기소음 평가 단위로 제정하였으며, 그 단위가 국내에서 사용하고 있는 $WECPNL_K$ 이다.

국내 $WECPNL_K$ 의 계산 과정과 일본이 $WECPNL_{ICAO}$ 을 간략화하기 위한 과정을 간략히 설명하면 다음과 같다.

$WECPNL_{ICAO}$ 원식과 이를 구하기 위한 $ECPNL$ 과 $EPNL$ 은 각각 아래와 같다.

$$WECPNL_{ICAO} = 10\log\left[\frac{d}{24}10^{\left(\frac{ECPNLd}{10}\right)} + \frac{e}{24}10^{\left(\frac{ECPNLe+5}{10}\right)} + \frac{n}{24}10^{\left(\frac{ECPNLe+10}{10}\right)}\right] + S$$

$$ECPNL = 10\log\left(\frac{1}{N}\right)\left[\sum_{k=1}^N 10^{\frac{EPNLk}{10}}\right] + 10\log N - 39.4$$

$$EPNL = 10\log\left[\sum_{k=0}^{d/\Delta t} 10^{\frac{PNLT}{10}}\right] - 13$$

간략화를 위한 첫 번째 가정은 $EPNL$ 을 최고소음도로 환산한 것이다. I. Yamada의 연구 결과에 따라 $PNLTM \cong L_{max} + 13$ 을 적용하여 $EPNL$ 을 최고소음도로 환산하였다.

$$EPNL \cong L_{ASmax} + 10\log\left(\frac{T_{dur}}{20}\right) + 13 + S$$

다음으로 측정 장소와 항공기의 종류에 따라 그 지속시간은 달라지나, 민항기의 소음 지속시간이 20초 내외인 점을 토대로 소음 지속시간을 20초로 일정하다고 가정하여 시간 보정항인 $+10\log(T_{dur}/20)$ 을 소거하였다.

또한 계절의 온도 변화에 따라 소음이 공기에 흡수되는 효과를 보정해주는 계절 보정인자를 삭제하였다.

$$WECPNL = \overline{L_{ASmax}} + 10\log[\gamma_d \cdot N_d + \gamma_e \cdot N_e \cdot 10^{5/10} + \gamma_n \cdot N_n \cdot 10^{10/10}] - 26.4$$

다음으로 항공기의 기종, 운항 시간, 운항 패턴에 따른 측정 지점의 최고소음도의 변화가 없다고 간주하여 주간·저녁·야간의 최고소음도가 일일 최고소음도와 일치한다고 가정하였다.

$$WECPNL = \overline{L_{ASmax}} + 10\log[N_d + 3.162 \cdot N_e + 10 \cdot N_n] - 26.4$$

마지막으로 저녁 시간대의 +5dB(A) 가중치로 인하여 발생한 3.162를 3으로, *ECPNL*의 1일 시간평균치로 발생한 상수값 -26.4를 -27로 수정하여 상수항을 간략화 하였다.

*WECPNL*을 최종적으로 정리하면 다음과 같다.

$$WECPNL = \overline{L_{ASmax}} + 10\log[N_d + 3 \cdot N_e + 10 \cdot N_n] - 27$$

- $\overline{L_{ASmax}}$: 일일 측정된 항공기소음 이벤트 중 배경소음보다 10 dB 이상인 음압에 대하여 maximum A-weighted sound pressure level 평균값
- N_d : 주간(07:00-19:00)에 관측된 항공기소음 이벤트 수
- N_e : 저녁(19:00-22:00)에 관측된 항공기소음 이벤트 수
- N_n : 야간(22:00-07:00)에 관측된 항공기소음 이벤트 수

일본은 민간항공기의 소음을 평가하는 환경청의 *WECPNL*과 군용 항공기의 소음을 평가하는 방위시설청의 *WECPNL*을 각각 제정하여 그 계산식과 평가방법을 달리 적용하였으며, 위에서 유도한 *WECPNL*은 환경청의 *WECPNL*이다.

우리나라는 일본 환경청의 *WECPNL*을 항공기소음 평가단위로 사용하고 있으나 약간의 차이점이 존재한다. 국내 *WECPNL_K*은 일본의 간략화 과정에서 소거된 $+10\log\frac{T_{dur}}{20}$ 을 완전히 소거하지 않고 소음의 지속시간이 30초 이상인 경우 보정인자로 적용하고 있는데, 이는 민간 항공기에 비해 소음의 지속시간이 긴 군용 항공기를 고려한 것으로 생각된다.

국내 「소음·진동 환경오염 공정시험기준」에 따르면, 배경소음보다 10 dB(A) 이상 크고 지속시간이 10초 이상인 항공기소음을 고려 대상 항공기소음으로 정의한다.

배경소음보다 10 dB(A) 이상 큰 항공기소음의 지속시간 평균 (\bar{D})가 30초를 초과하면 앞서 말했다시피 다음과 같은 보정량을 더해준다.

$$Adjustment\ Factor = +10\log\left(\frac{\bar{D}}{20}\right)$$

m일간의 평균 *WECPNL_K*은 1일 단위의 *WECPNL_K*을 에너지 평균하여 구하며 다음식과 같다.

$$\overline{WECPNL} = 10\log\left[\frac{1}{m}\sum_{i=1}^m 10^{\left(\frac{WECPNL}{10}\right)}\right]$$

$WECPNL_{ICAO}$ 은 특정 주파수 순음성분 및 발생소음의 지속시간을 고려하여 계산한다. 그러나 국내 $WECPNL_K$ 은 순음 성분에 대한 보정치를 이러한 보정치를 삭제함으로써 계산을 간소화하였다.

$WECPNL_{ICAO}$ 와 $WECPNL_K$ 는 항공기 소음의 지속시간을 정의하는 방식에서도 차이가 있다. <그림 4>에서와 같이 $PNLTM$ 에서 10 dB 낮은 시간을 기준으로 지속시간을 계산하는 $WECPNL_{ICAO}$ 과는 달리, <그림 5>의 국내 $WECPNL_K$ 은 배경소음으로부터 10 dB 높은 시간을 기준으로 지속시간을 설정한다.

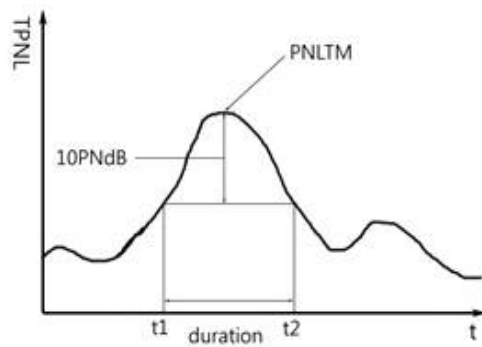


그림 4 $WECPNL_{ICAO}$ 의 지속시간 정의

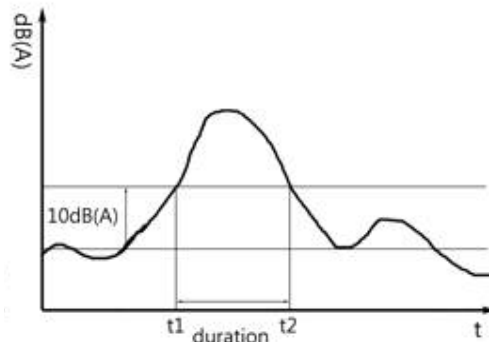


그림 5 $WECPNL_K$ 의 지속시간 정의

2.1.1.6. L_{den} (Day-Evening-Night Average Sound Level, DENL)

L_{den} 은 등가 에너지 기준형 단위로, 하루 동안 등가소음도를 측정하고 시간대별로 가중치를 부여하여 하루 평균의 등가소음도를 구하는 단위이다. L_{dn} 은 하루를 주간-야간으로 2분할하여 가중치를 적용한 단위이고, L_{den} 은 하루를 주간-저녁-야간으로 3분할하여 가중치를 적용한 단위이다.

각 시간대별 평균 소음레벨에 주간은 +0 dB(A), 저녁은 +5 dB(A), 야간은 +10 dB(A)의 가중치를 부여하며, 식은 아래와 같다.

$$L_{dn} = 10 \log \left[\frac{1}{24} \{ (d \times 10^{0.1L_d}) + (n \times 10^{0.1(L_n + 10)}) \} \right]$$

- L_d : 주간의 평균소음레벨, dB(A)
- L_n : 야간의 평균소음레벨, dB(A)
- d, n : 각각 주간, 저녁, 야간의 시간 (3-분할법으로 주간 07:00-22:00, 야간 22:00-07:00으로 한다면 d=15, n=9)

$$L_{den} = 10 \log \left[\frac{1}{24} \{ (d \times 10^{0.1L_d}) + (e \times 10^{0.1(L_e + 5)}) + (n \times 10^{0.1(L_n + 10)}) \} \right]$$

- L_d : 주간의 평균소음레벨, dB(A)
- L_e : 저녁의 평균소음레벨, dB(A)
- L_n : 야간의 평균소음레벨, dB(A)
- d, e, n : 각각 주간, 저녁, 야간의 시간 (3-분할법으로 주간 07:00-19:00, 저녁 19:00-22:00, 야간 22:00-07:00으로 한다면 d=12, e=3, n=9)

L_{dn} 과 L_{den} 을 항공기소음 평가단위로 사용되는 유럽의 국가들은 공항이 시골 지역에 위치하고 있어 배경소음도에 의한 영향이 적으나, 우리나라의 경우는 공항 인근의 배경소음도가 높아 각 시간대의 평균소음레벨을 고려할 경우 부정확한 소음도를 산출할 우려가 있다. 이러한 점을 고려하여 L_{den} 으로 평가 단위를 변경한 일본의 경우 *WECPNL*의 이벤트 개념을 적용한 *Event L_{den}* 을 사용하고 있다.

Event L_{den} 은 시간대의 평균소음레벨이 아닌 비행기가 지나갈 때 발생하는 소음만을 고려해야 하므로 소음폭로레벨(Sound Exposure Level, SEL)을 이용하여 계산하며 그 식은 다음과 같다.

$$L_{den} = 10\log\left[\sum_{N_d} 10^{0.1L_{AE(i)}} + \sum_{N_e} 10^{0.1(L_{AE(j)} + 5)} + \sum_{N_n} 10^{0.1(L_{AE(k)} + 10)}\right] - 49.4$$

L_{AE} 는 *WECPNL_K*에서 정의한 항공기 소음 이벤트 동안의 소음폭로레벨(SEL)이며, 49.4는 하루 86400초에 대한 평균, $10\log 86400$ 을 의미한다.

본 논문에서는 이벤트 개념을 적용하지 않은 L_{den} 을 *Total L_{den}*, 이벤트 개념을 적용한 L_{den} 을 *Event L_{den}* 이라고 표기하였다.

2.1.2. 항공기소음 분석 대상

본 연구의 항공기소음 평가단위간 비교 분석과 *WECPNL_K*과 *Event L_{den}* 의 회귀분석을 위해 활용된 데이터의 대상 공항은 <표 3>과 같다. 대상 공항 중 김포국제공항, 제주국제공항, 광주공항은 환경부에서 운영하고 있는 자동측정망을 통해 측정된 데이터를 활용하였으며 그 위치를 <표 4 ~ 6>, <그림 6 ~ 8>에 나타내었다.

공항	구분	측정 장소	측정 기간
김포국제공항	민간	강서초교 등 12개 지점	2013.1.1. ~ 2015.12.31
제주국제공항	민간	용마복지회관 등 6개 지점	2013.1.1. ~ 2015.12.31
광주공항	민·군 공용	환경시설공단 등 7개 지점	2013.1.1. ~ 2015.12.31
성남비행장 등 7개 공항	군사	80개 지점	측정 지점 당 2013년 중 연속 7일

표 3 항공기소음 분석 대상 공항

측정 기간 동안 1초 단위로 측정된 소음도 데이터를 이용하여 2.1.1에 나타낸 계산식을 통해 $WECPNL_K$, $Total L_{den}$, $Event L_{den}$ 을 각각 계산하였다. 허용 범위를 벗어난 데이터는 분석에서 제외하였다.

지점 번호	지점 명칭	설치 위치
1	강서초교	서울 양천구 신월4동 441
2	고척도서관	서울 구로구 고척2동 산 9-14
3	금성공업사	경기 김포시 풍무동 3-1
4	대장초교	경기 부천시 오정구 대장동 196-1
5	별말부락	인천 계양구 평동 96-4
6	사우고교	경기 김포시 사우동 사우택지개발지구 18B
7	서원APT	경기 부천시 오정구 고강동 333-3
8	소준부락	경기 김포시 고촌면 태리 1004-1
9	송정중학	서울 강서구 공항동 768-1
10	신월동	서울 양천구 신월3동152-11
11	오곡초교	서울 강서구 오곡동 55-1
12	월정초교	서울 강서구 화곡1동 374-1

표 4 김포 국제공항 소음 자동측정망 설치 위치



그림 6 김포국제공항 소음 자동측정망 측정지점

지점 번호	지점 명칭	설치 위치
1	용마복지회관	제주특별자치도 제주시 용담3동
2	용담레포츠공원	제주특별자치도 제주시 용담3동 용담레포츠공원
3	도두1동	제주특별자치도 제주시 도두1길 9-1
4	도마울회관	제주특별자치도 제주시 이호2동
5	내도동 60-21	제주특별자치도 제주시 대통동길 61
6	성지요양원	제주특별자치도 제주시 통물길 122

표 5 제주 국제공항 소음 자동측정망 설치 위치



그림 7 제주국제공항 소음 자동측정망 측정지점

지점 번호	지점 명칭	설치 위치
1	환경시설공단	광주광역시 서구 치평동 1163
2	덕흥동	광주 서구 덕흥동 953-2
3	마산경로당	광주광역시 서구 벽진동 633-3
4	본덕동	광주 광산구 본덕동 329
5	송대동	광주 광산구 송대동 546
6	송정동	광주 광산구 송정동 277-3
7	우산동	광주 광산구 우산동 212-4

표 6 광주공항 소음 자동측정망 설치 위치

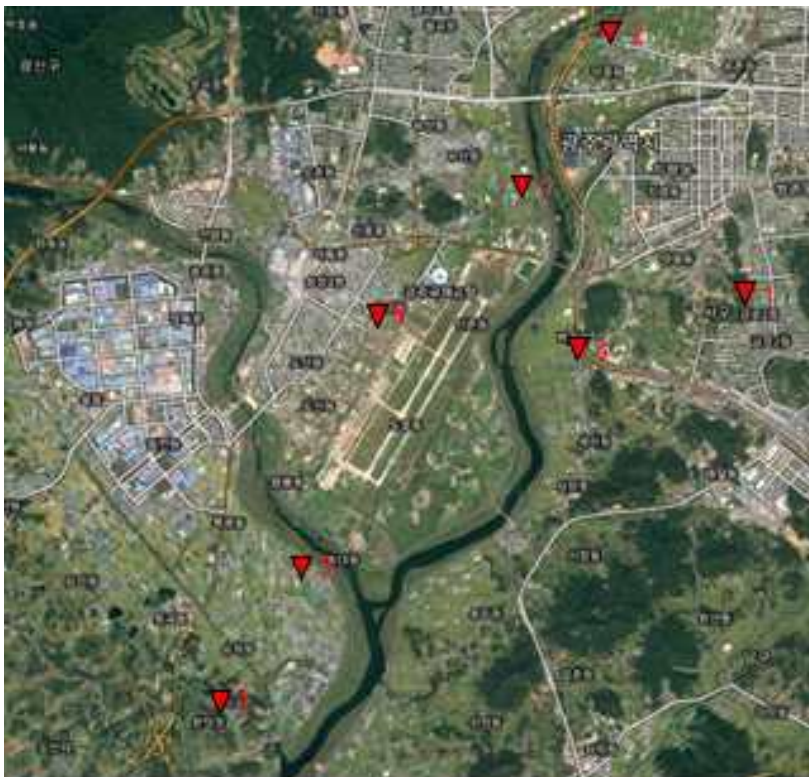


그림 8 광주공항 소음 자동측정망 측정지점

2.1.3. 항공기 소음 패턴

현재 우리나라는 15곳의 민간공항 중 8곳이 민·군 공용공항이며, 그 현황은 <표 7>와 같다[10]. 이 53.3%에 해당하는 민·군 공용공항의 비율은 일본의 8.2%와 비교해 상당히 높은 비율이다. 또한 국내 군용 비행장은 <표 8>와 같다.

구 분	계	공 항
민간	7	인천, 김포, 제주, 양양, 무안, 여수, 울산
민군 겸용	8	광주, 군산, 김해, 대구, 사천, 원주, 청주, 포항

표 7 국내 공항 현황

구 분	계	해당 비행장
전술항공 작전기지	전투기 15	사천, 김해, 대구, 포항, 수원, 성남, 강릉, 원주, 광주, 예천, 청주, 충주, 서산, 평택, 군산
지원항공 작전기지	수송기 헬기 14	진해, 청원, 이천, 논산, 목포, 춘천, 용진, 고양, 포천, 양주, 양구, 양양, 연기, 전주
	헬기 전용 15	부천, 파주, 가평, 포천, 양평, 춘천, 화천, 홍천, 인제, 용인, 연기, 영천, 하남, 남양주, 음성

표 8 국내 군용 비행장 현황

민간항공기의 경우에는 단일 이륙과 착륙을 하기 때문에 최고 소음도를 평가기준으로 사용하는 국내 $WECPNL_K$ 의 경우에 소음 측정결과를 보고 이를 판단하기 쉽다. 하지만 군용전투기는 편대 혹은 편조 비행으로 2대 이상의 항공기가 동시에 이륙하게 되고, Touch and Go와 같이 착륙과 동시에 재이륙을 하는 등 이·착륙의 형태로 인해 다수의 군용항공기가 하나의 최고소음도로 중첩

되어 나타난다. 또한 이로 인해 군용항공기는 민간 항공기에 비해 지속 시간이 긴 이벤트 특성을 갖는다. 이처럼 민항기와 군용기는 서로 다른 이벤트 특성을 띤다. 민항기와 군용기에 의해 발생하는 소음의 특징을 <표 9>에 나타내었다.

항목	민항기	군용기	차이 원인
이·착륙 형태	단일 이·착륙	다수 연속 이·착륙	군용기의 편대 및 편조 비행, Touch and GO
최고소음도	단일 피크	중첩된 피크	군용기 연속 이·착륙
지속 시간	이벤트당 20초 내외	이벤트당 30초 이상	군용기 연속 이·착륙으로 인한 지속시간 중첩
운행 패턴	일정함	다양함	군용기는 훈련임무와 비상출격에 따라 다양함

표 9 국내 민항기와 군용기의 발생소음 특징 비교

<그림 9>은 민항기에 의한 발생소음 패턴이며, <그림 10>은 군용기에 의한 발생소음 패턴이다.

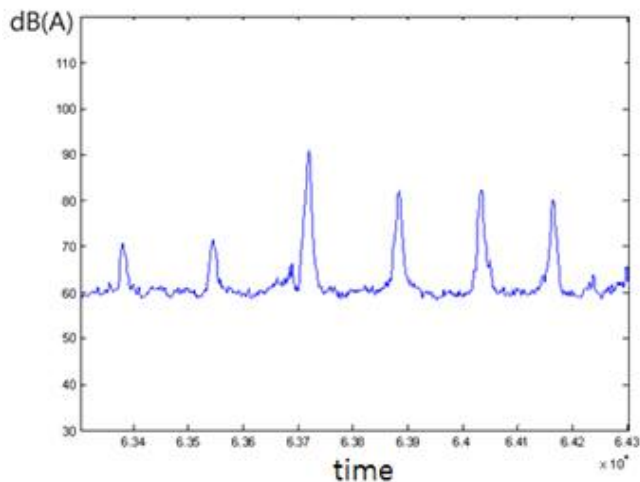


그림 9 민간 항공기의 발생 소음 패턴

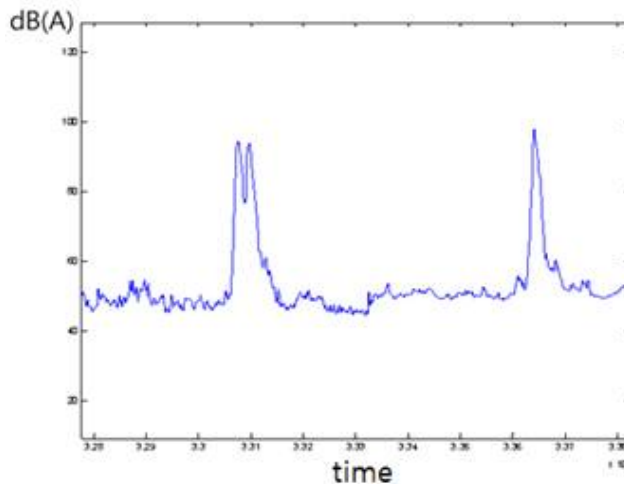


그림 10 군용 항공기의 발생 소음 패턴

국내 $WECPNL_K$ 은 최고소음도를 사용하므로 민항기에 의한 소음을 평가하기에는 적합하지만 군용기의 경우 <그림 10>에서 나타난 이벤트의 중첩과 같은 다양한 운항 패턴에 의해 다소 부적합한 측면이 존재한다.. 반면, 에너지 등가원리에 기반한 항공기 소음 평가단위는 국내 $WECPNL_K$ 에 비해 계산과정은 복잡하나, 다양한 항공기 소음패턴에 적용 가능하다.

2.1.4. 배경소음도의 영향

국내 「소음·진동 환경오염 공정시험기준」에 따르면, 배경소음보다 10 dB 이상 크고 지속시간이 10초 이상인 항공기소음을 고려 대상 항공기소음으로 정의한다. 따라서 항공기 소음을 측정하기 위해서 배경소음부터 측정해야한다. 하지만 소음·진동 환경오염 공정시험기준에서는 항공기소음의 배경소음 측정방법을 명시되어있지 않기 때문에 보통 소음진동공정시험기준의 다른 소음의 배경소음 측정방법을 사용하여 항공기 소음의 배경소음도를 결정하게 된다. 배출허용기준이나 발파소음 등의 배경소음 측정 방식

으로 측정한다면, 측정 조건에 따라 배경소음도가 약간의 차이를 보일 수 있다. $WECPNL_K$ 는 배경소음도를 기준으로 10 dB 이상 큰 항공기 소음의 발생 횟수를 직접 고려하므로, 배경소음도의 차이에 의해 $WECPNL_K$ 로 계산된 소음도의 차이가 발생하게 된다.

각 평가단위에 대한 배경소음도의 영향을 살펴보기 위해 김포 공항의 측정지점별 $WECPNL_K$, $Total L_{den}$, $Event L_{den}$ 을 <그림 11>, <그림 12>, <그림 13>에 각각 나타내었다. <그림 11 ~ 13>을 살펴보면, $WECPNL_K$ 과 $Event L_{den}$ 은 고소음 지역과 저소음 지역이 명확히 구분되나 $Total L_{den}$ 의 경우 측정지점의 소음특성을 명확하게 나타내지 못한다는 것을 알 수 있다. 이는 $Total L_{den}$ 이 항공기소음이 아닌 다른 소음원까지 계산하기 때문이며, 공항이 도심 인근에 위치한 우리나라에서 항공기소음 평가단위로 $Total L_{den}$ 을 사용한다면 배경소음으로 인해 측정지점의 항공기소음특성을 잘 반영하지 못할 우려가 있다.

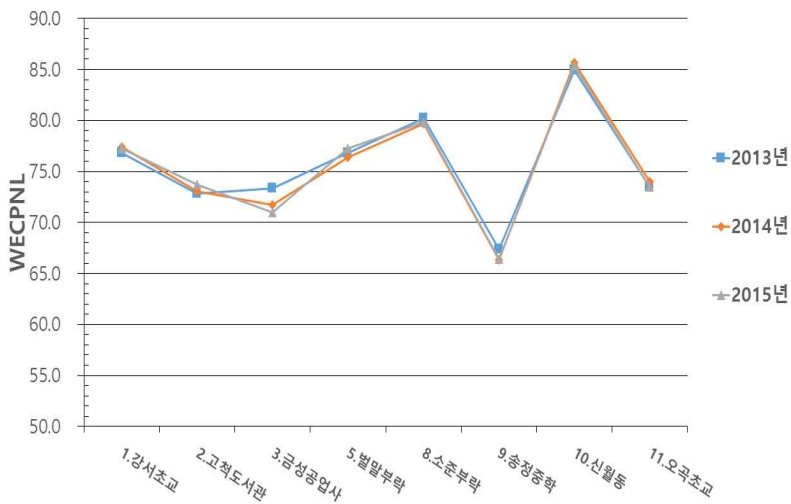


그림 11 김포국제공항 측정지점별 WECPNL_K 평균 소음도

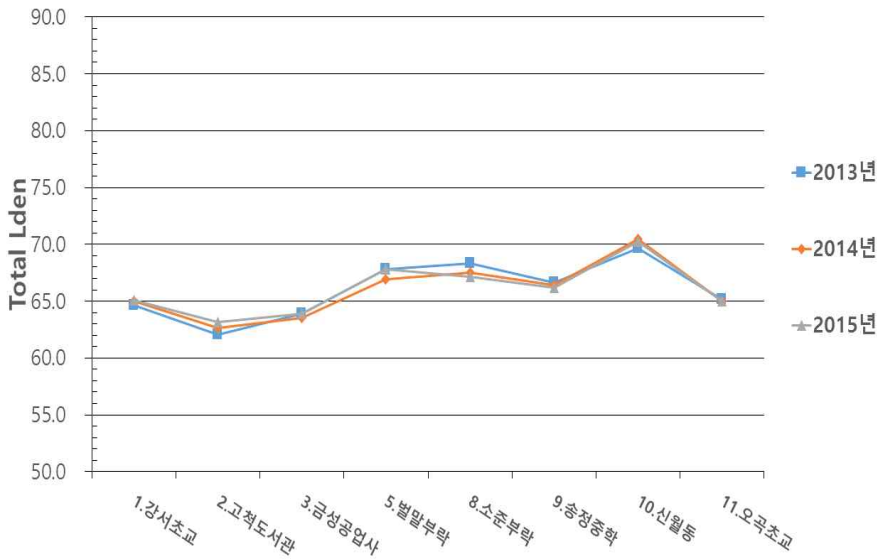


그림 12 김포국제공항 측정지점별 Total Lden 평균 소음도

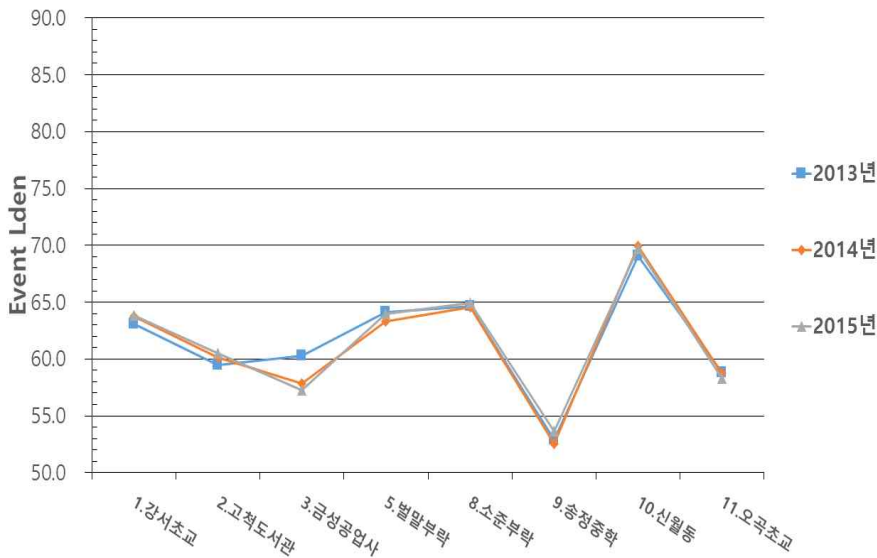


그림 13 김포국제공항 측정지점별 Event Lden 평균 소음도

$WECPNL_K$ 은 최고소음도만을 고려하므로 배경소음도에 의한 영향이 작다고 간주하면, $Total L_{den}$ 과 $WECPNL_K$ 의 차이, $Event L_{den}$ 과 $WECPNL_K$ 의 차이를 배경소음도와 비교함으로써 배경소음도가 $Total L_{den}$ 과 $Event L_{den}$ 에 미치는 영향을 확인할 수 있다. <그림 14>에 김포국제공항의 지점별 배경소음도를 <그림 15>에 $Total L_{den}$ 과 $WECPNL_K$ 의 차이를 <그림 16>에 $Event L_{den}$ 과 $WECPNL_K$ 의 차이를 각각 나타내었다. <그림 14 ~ 16>을 비교해보면, $Total L_{den}$ 과 $WECPNL_K$ 의 차이는 $Event L_{den}$ 과 $WECPNL_K$ 의 차이에 비해 지점의 배경소음도와 연관이 있다는 것을 확인할 수 있다. 이로 판단할 때, $Total L_{den}$ 은 하루 전체의 소음도를 에너지 등가원리에 의해 적분하므로 배경소음으로 인해 부정확한 소음도를 산출하게 된다.

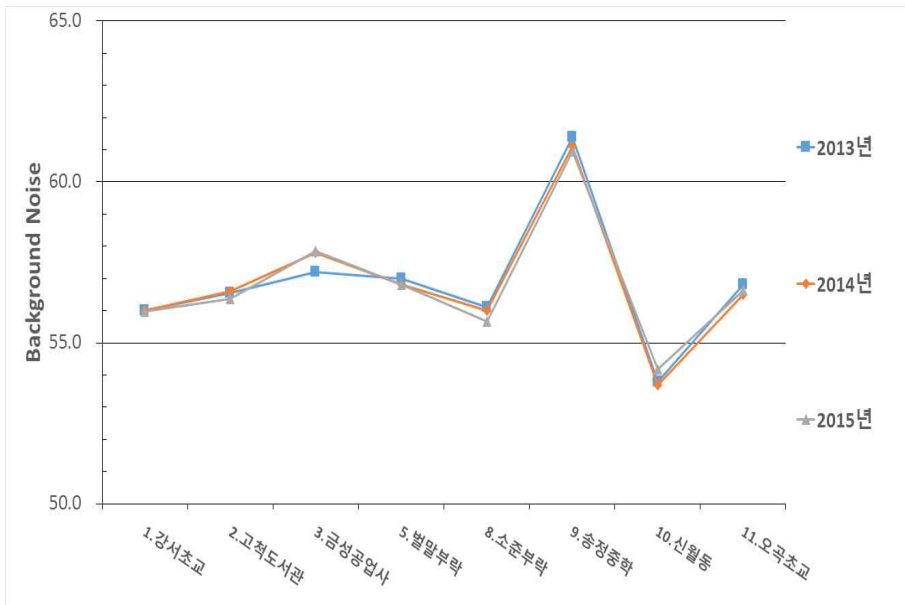


그림 14 김포국제공항의 측정지점별 배경소음도

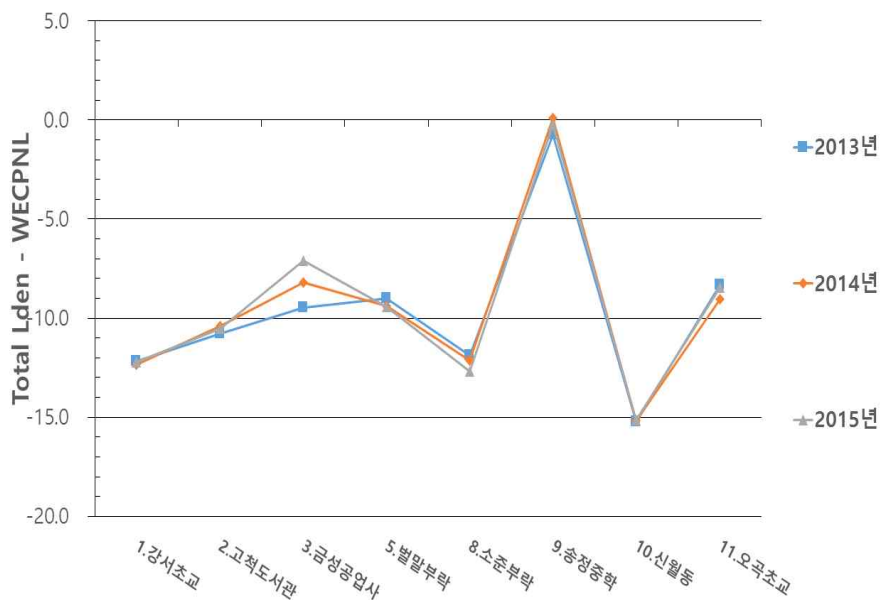


그림 15 김포국제공항의 측정지점별 Total Lden과 WECPNL_K의 차이

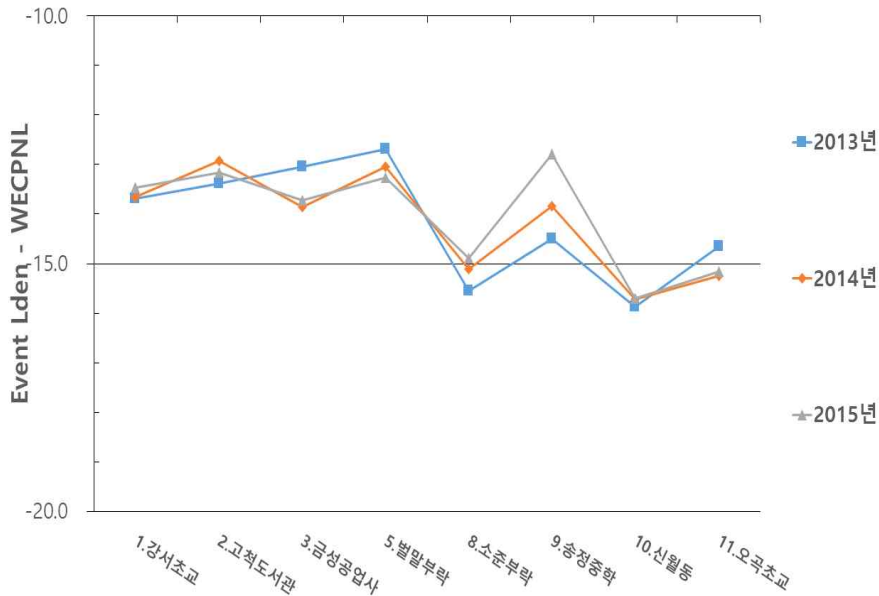


그림 16 김포국제공항의 측정지점별 Event Lden과 WECPNL_K의 차이

WECPNL_K과 마찬가지로 $Event L_{den}$ 또한 배경소음도에 의해 특정 이벤트가 고려되거나 고려되지 않을 수 있지만, 이벤트의 횟수를 직접 고려하는 WECPNL_K와는 달리, $Event L_{den}$ 은 이벤트의 에너지를 고려하므로 배경소음도보다 10 dB 정도 높은 수준의 이벤트는 전체 소음도에 큰 영향을 미치지 못할 것이다. 따라서 배경소음도 측면에서 항공기소음 평가단위 중 $Event L_{den}$ 이 가장 적합하다고 판단할 수 있다.

2.1.5. 지속시간의 영향

우리나라에서 사용하고 있는 항공기소음 평가단위는 WECPNL_K로 각 이벤트의 최고소음도를 기준으로 하루의 소음도를 산출한다. 하지만 본래 ICAO에서 제안한 WECPNL_{ICAO}은 에너지 등가원리 기준형으로 항공기소음 이벤트동안의 에너지 총량

을 고려하는 단위이다. 일본은 항공기소음 평가단위를 제정할 당시 계산의 단순화를 위해 항공기소음의 지속시간을 20초로 가정하여 자국의 실정에 적합하게 $WECPNL_{ICAO}$ 을 변형하여 도입하였다. 이로 인해 항공기소음의 지속시간이 20초를 벗어날 경우 부정확한 소음도를 산출할 우려가 있다.

날짜	배경 소음도	이벤트 횟수				$\overline{L_{Smax}}$	지속 시간	WEC PNL	Total Lden	Event Lden
		N1	N2	N3	N4					
'15.7.10	59.1	0	99	0	0	87.1	25.8	80.1	68.6	67.0
'15.7.22	59.7	0	93	0	0	87.0	13.3	79.7	65.8	62.3

표 10 $WECPNL_K$ 의 지속시간에 대한 영향

<표 10>는 2015년 7월에 측정된 김포국제공항 강서초교의 항공기 소음도이다. 10일, 22일 측정된 배경소음도는 각각 59.1 dB(A), 59.7 dB(A)로 비슷한 배경소음도를 보였다. 하루 동안 측정된 항공기소음 이벤트 횟수 또한 같은 시간대에 비슷한 횟수를 보였으며 이벤트의 $\overline{L_{Smax}}$ 도 유사한 값을 나타내었다. 따라서 10일의 소음도는 80.1 WECPNL, 79.7 WECPNL로 비슷한 소음도로 계산되었다. 하지만 10일과 22일 각각의 항공기소음의 평균 지속시간은 25.8초와 13.3초로 10일에 발생한 항공기소음이 22일 발생한 항공기소음보다 지속시간이 훨씬 길었음을 알 수 있으며, 인근 주민이 느낀 소음은 10일이 더욱 컸으리라 예상할 수 있다. $Total L_{den}$ 과 $Event L_{den}$ 로 평가한 소음도는 10일이 22일에 비해 높게 나타나 주민들이 실제 느끼는 항공기소음을 적절히 평가하고 있다고 판단할 수 있다.

이러한 결과는 $WECPNL_K$ 이 지속시간을 고려하지 못하기 때문

에 발생한 일이며, 에너지 등가원리 기준형 단위인 $Total L_{den}$ 과 $Event L_{den}$ 이 $WECPNL_K$ 보다 항공기소음 평가단위로 적합하다.

2.2. WECPNL_K과 Event Lden의 상관관계

본 논문의 서론에서 언급한 것처럼 우리나라는 $WECPNL_K$ 을 사용하고 있어 에너지 등가 원리 기준형 단위인 L_{dn} 혹은 L_{den} 을 사용하는 국가들의 항공기 소음에 대한 환경 기준 및 규제 기준과 정량적인 비교에 어려움이 있다. 또한 최근 우리나라의 항공기 소음 평가단위를 $WECPNL_K$ 에서 $Event L_{den}$ (이하 L_{den})으로 개정하려는 움직임이 있어, $WECPNL_K$ 을 기준으로 설정된 「공항 소음 방지 및 소음대책지역 지원에 관한 법률」 등과 같은 정책상의 소음도 기준을 L_{den} 으로 환산하는 과정이 필요하다. 이에 따라 본 연구에서는 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 상관관계를 수식으로써 유도함으로써 이론적인 근거를 제시하고, 여러 공항 인근에서 측정된 많은 데이터를 분석하여 회귀분석을 실시함으로써 높은 신뢰도의 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 환산식을 도출하고자 하였다.

2.2.1. 이론적 상관관계

2.2.1.1. WECPNL_K과 Event Lden의 상관관계 유도

$WECPNL_K$ 원식인 <식 1>에서

$$WECPNL_K = \overline{L_{ASmax}} + 10\log(N_d + 3N_e + 10N_n) + 10\log\frac{\overline{D}}{20} - 27$$

<식 1>

항공기 소음 각 이벤트의 L_{ASmax} 와 L_{max} 가 근사한 값을 갖고 시간대(주간, 저녁, 야간)에 따라 L_{ASmax} 와 항공기 소음의 지속시간에 편차가 없다면, $\overline{L_{ASmax}}$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\overline{L_{ASmax}} = 10\log\left(\frac{1}{N_d + N_e + N_n} \sum^N 10^{0.1L_{ASmax}}\right)$$

$$\approx 10\log\left(\frac{1}{N_d + 3N_e + 10N_n} \sum^N 10^{0.1L_{\max}}\right) \quad \text{<식 2>}$$

여기서 N_c 는 시간대에 따른 가중치가 보정된 운항횟수(corrected number of events), 즉, $N_c = N_d + 3N_e + 10N_n$ 이다.

마찬가지로 평균 지속시간 \bar{D} 도 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \bar{D} &= \frac{1}{N_d + N_e + N_n} \left(\sum^{N_d} d_d + \sum^{N_e} d_e + \sum^{N_n} d_n \right) \\ &\approx \frac{1}{N_d + 3N_e + 10N_n} \left(\sum^{N_d} d_d + 3 \sum^{N_e} d_e + 10 \sum^{N_n} d_n \right) \end{aligned} \quad \text{<식 3>}$$

이를 <식 1>에 넣고 정리하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} WECPNL_K &= 10\log\left(\frac{1}{N_d + 3N_e + 10N_n} \sum^{N_c} 10^{0.1L_{ASmax}}\right) \\ &\quad + 10\log(N_d + 3N_e + 10N_n) \\ &\quad + 10\log\left\{\frac{1}{N_d + 3N_e + 10N_n} \left(\sum^{N_d} d_d + \sum^{N_e} d_e + \sum^{N_n} d_n\right)\right\} \\ &\quad - 10\log 20 - 27 \\ &= 10\log\left(\frac{1}{N_c} \sum^{N_c} 10^{0.1L_{ASmax}} \cdot \sum^{N_c} d\right) - 40 \end{aligned} \quad \text{<식 4>}$$

다음으로 L_{den} 을 고려하면,

$$L_{den} = 10\log\left(\sum^{N_d} 10^{0.1L_{AE(i)}} + \sum^{N_e} 10^{0.1(L_j + 5)} + \sum^{N_n} 10^{0.1(L_{AE(k)} + 10)}\right) - 49.4 \quad \text{<식 5>}$$

<식 5>에서 $10^{0.1L_{AE}}$ 는 각 이벤트의 항공기 소음에 의한 에너지를 의미한다. 이를 L_{\max} 에 관한 식으로 표현하기 위해 이벤트 지

속시간동안의 소음도가 L_{max} 라고 가정했을 때의 에너지에 대한 실제 이벤트에 의한 에너지의 비를 변수 k라고 정의하자.

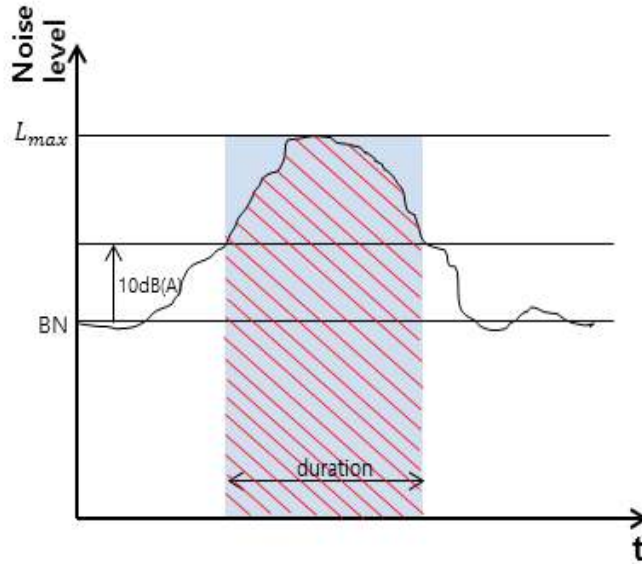


그림 17 항공기 소음에 의한 에너지의 고려

즉, <그림 17>과 같은 항공기에 의해 소음이 발생했을 때, 빨간 사선 부분은 실제 이벤트의 에너지이고, 파란 음영 부분은 이벤트 때 순간의 소음도가 L_{max} 라고 가정했을 때의 에너지를 의미하며, k는 파란 음영 부분의 에너지에 대한 빨간 사선 부분이 차지하는 에너지의 비를 의미한다.

따라서 실제 이벤트에 의한 에너지 $10^{0.1L_{AE}}$ 를 <식 6>과 같이 표현할 수 있다.

$$10^{0.1L_{AE}} = k \cdot 10^{0.1L_{max}} \cdot d \quad \text{<식 6>}$$

이를 L_{den} 원식인 <식 5>에 대입하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$L_{den} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^{N_d} k_i d_i 10^{0.1L_{max,i}} + 3 \sum_{j=1}^{N_e} k_j d_j 10^{0.1L_{max,j}} \right)$$

$$\begin{aligned}
& + 10 \sum_{i=1}^{N_n} k_i d_i 10^{0.1 L_{\max, i}} - 10 \log 86400 \\
& = 10 \log \left(\sum_{i=1}^{N_e} k_i \cdot d_i \cdot 10^{0.1 L_{\max, i}} \right) - 49.4 \quad \text{<식 7>}
\end{aligned}$$

마찬가지로 N_e 는 시간대에 따른 가중치가 보정된 운항횟수 (corrected number of events), $N_c = N_d + 3N_e + 10N_n$ 이다.

<식 4>와 <식 7>을 이용하면 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 간의 상관관계는 <식 8>으로 표현 할 수 있다.

$$WECPNL_K - L_{den} = 10 \log \left(\frac{\sum_{i=1}^{N_e} 10^{0.1 L_{max, i}} \cdot \sum_{j=1}^{N_e} d_j}{N_c \cdot \sum_{k=1}^{N_e} k \cdot d \cdot 10^{0.1 L_{\max}}} \right) + 9.4 \quad \text{<식 8>}$$

$WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 환산식은 k , 최고소음도(L_{\max}), 지속시간(d , duration), 보정된 운항횟수(N_e , corrected number of events)의 식으로 표현된다. 그러나 이 변수들은 측정을 통해서만 얻을 수 있고 측정 지점과 항공기의 운항 조건에 따라 그 값의 분포가 매우 넓어 <식 8>을 통해 정확한 환산관계를 결정할 수 없다. 하지만 <식 8>을 통해 네 변수 k , 최고소음도(L_{\max}), 지속시간(d , duration), 보정된 운항횟수(N_e , corrected number of events)가 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 환산에 각 변수들이 미치는 영향을 알아볼 수 있다.

모든 항공기 소음 이벤트의 최고소음도(L_{\max}), 지속시간(d , duration)이 같다고 가정하고 네 변수 중 세 변수는 임의의 상수로 고정한 채 하나의 변수만을 변화시키며 그 영향을 알아보았다. 그 결과 보정된 운항횟수(N_e)의 증감이 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 환산관계에 미치는 영향은 없으며, 마찬가지로 최고 소음도(L_{\max})

와 지속시간(d, duration)의 변화에 따른 영향 또한 없었다. 오직 k 의 증감에 의해서만 <식 8>의 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 차가 변하였으며, <그림 18>에 나타난 것과 같이 k 가 증가할수록 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 차가 감소하는 경향을 보였다.

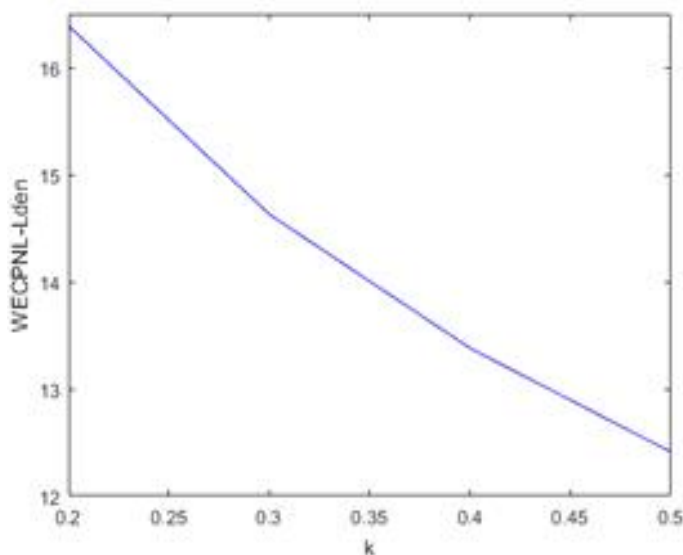


그림 18 k 에 의한 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 영향

2.2.1.2. 이론 환산식을 통한 경향 예측

2.2.1.1에서 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 상관관계를 이론적으로 유도하였고, 제한된 조건하에서 주요 변수들에 의한 영향을 살펴보았다. 하지만 실제 항공기소음의 최고소음도와 지속시간은 상황에 따라 다르며, 항공기 소음은 배경소음도에서 점차 상승하여 최고 소음도에 도달한 후 다시 배경소음도까지 감소하므로 일반적으로 최고소음도가 높을수록 지속시간이 긴 경향을 보인다. 이러한 실제적인 상황을 반영함으로써 <식 8>을 통해 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 간 상관관계의 경향성을 예측하기 위해 <그림 19>과 같은 삼각형 형태의 이벤트를 가정하였다.

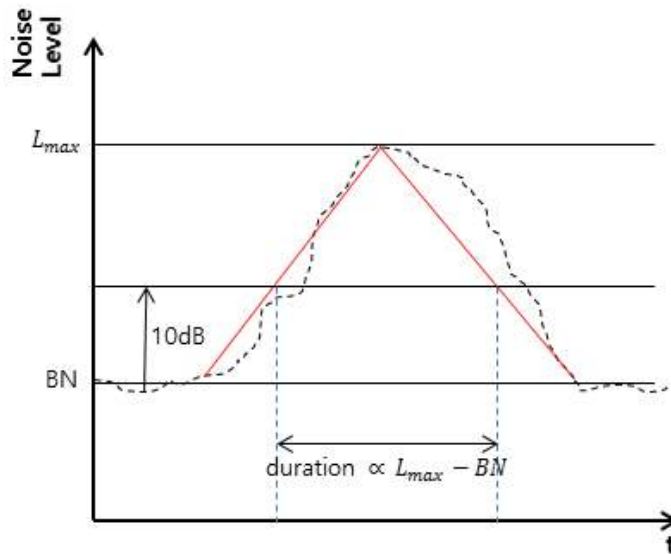


그림 19 삼각형 형태의 이벤트 가정

항공기 소음은 배경소음도부터 일정한 비율로 상승하여 최고 소음도(L_{max})에 도달한 후 다시 배경소음도까지 일정한 비율로 감소하며, 그 비율에 따라 지속시간이 결정된다고 가정하였다. 하루에 발생하는 이벤트들의 최고소음도는 임의의 최고 소음도 평균($\overline{L_{max}}$)을 평균으로 하는 가우시안 분포(Gaussian distribution)를 따르며, 모든 이벤트 형상은 <그림 19>과 같은 닭은꿀의 삼각형 형태로 가정하였다.

이러한 삼각형 형태의 이벤트를 가정하여 보정된 운항횟수(N_c), 최고 소음도의 평균($\overline{L_{max}}$), 삼각형 이벤트에서 기울기가 의미하는 소음의 상승·하강률에 따른 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 차이를 <식 8>을 통해 예측하였다.

2.2.1.2.1. 최고 소음도 평균에 따른 경향

100회의 보정된 운항횟수와 최고소음도와 배경소음도의 차이가

20dB(A)일 때 15초의 지속시간을 갖으며 그 비율은 모든 이벤트에 대해 동일하다고 가정하였다.

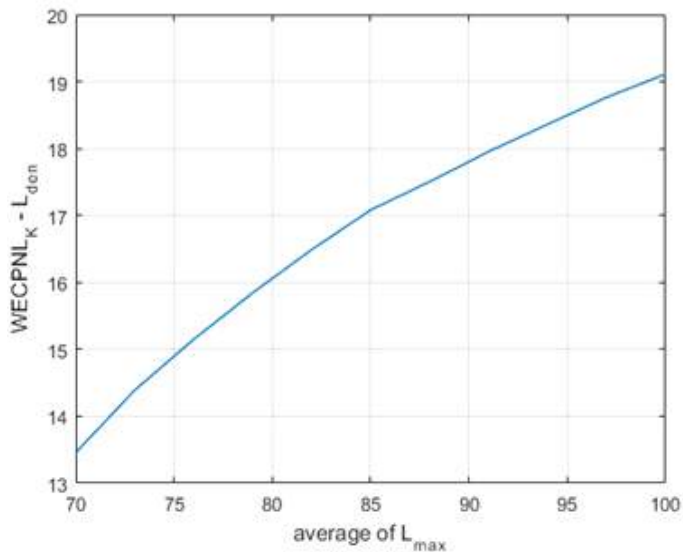


그림 20 최고소음도의 평균에 따른 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 차이

그 결과 <그림 20>에서 확인할 수 있듯이 최고소음도 평균이 증가함에 따라 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 차이가 증가하는 것을 확인하였다. 그 원인은 <그림 21>에 나타낸 것과 같이 이벤트의 최고소음도(L_{max})가 증가함에 따라 k 가 감소하기 때문이라는 것을 삼각형 형태의 이벤트의 k 를 계산하여 알 수 있었다. k 는 이벤트의 에너지에 의해 결정되는 변수이고 에너지는 소음도의 10의 거듭제곱에 비례하므로, 닦은꼴의 삼각형 형태의 이벤트 일지라도 최고소음도가 높아짐에 따라 k 가 감소하는 것이다. 이러한 결과를 토대로 고소음도 지역에서 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 차이가 커짐을 예측할 수 있다.

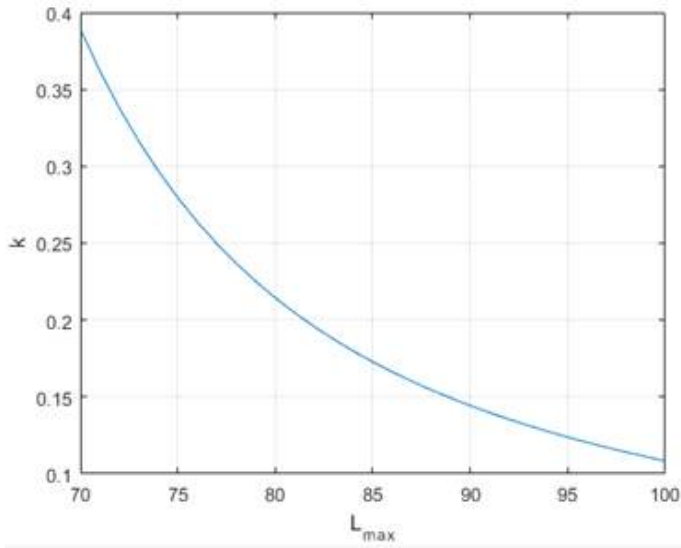


그림 21 최고소음도와 k의 상관관계

2.2.1.2.2. 소음도 상승·하강율의 영향

지속시간 동안 시간의 변화에 따라 소음도가 상승·하강하는 속도, 즉, 삼각형 형태의 이벤트에서 빗변의 기울기에 따라 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 차이가 어떠한 경향을 보이는지 확인하였다. 보정된 운항횟수(N_c , corrected number of events)는 100회로 가정하였으며, 최고소음도의 평균($\overline{L_{max}}$)에 따라 $WECPNL_K$ 을 구하고 각 $WECPNL_K$ 에 대응하는 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 차이를 <식 8>을 통하여 계산하였다.

그 결과 <그림 22>과 <그림 23>에서 알 수 있듯이 시간에 대한 소음도의 변화율이 작을수록 즉, 같은 최고소음도일 때 지속시간이 길수록 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 차이는 감소하였다.

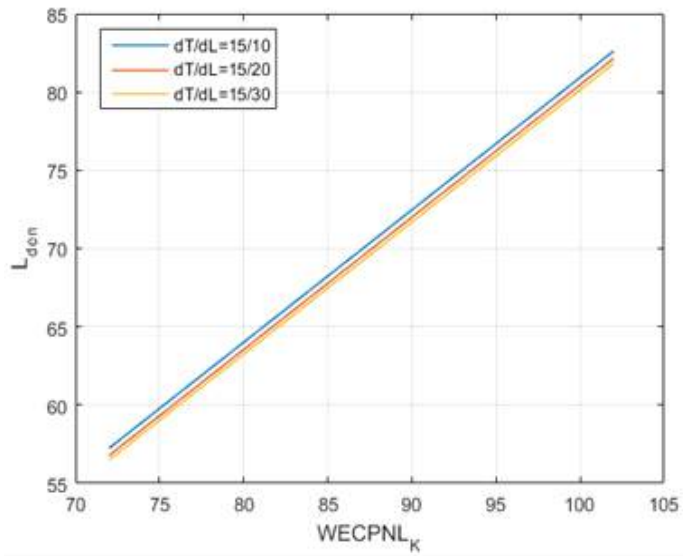


그림 22 소음도 변화율에 의한 상관관계의 경향①

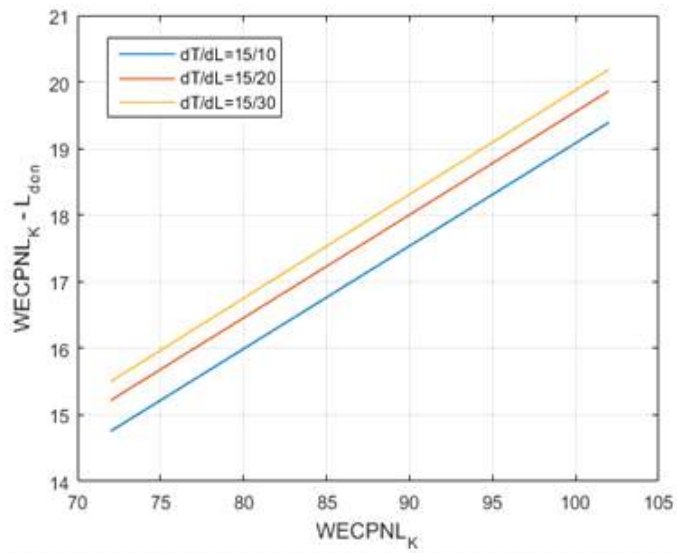


그림 23 소음도 변화율에 의한 상관관계의 경향②

2.2.1.2.3. 운항횟수

보정된 운항횟수(N_c)에 따른 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 간 차이의 경향을 확인하기 위해 최고 소음도와 배경소음도의 차이가 20dB(A) 일 때 15초의 지속시간을 가지며, 각 이벤트의 지속시간은 동일한 소음도 변화율에 의해 결정된다고 가정하였다..

<그림 24>과 <그림 25>에서 알 수 있듯이 운항횟수가 증가함에 따라 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 차이는 감소하였다. 이는 각 이벤트의 최고소음도(L_{max})를 가우시안분포로 가정하였기 때문에 최고소음도(L_{max})가 높고 지속시간이 긴 이벤트 횟수가 증가하여 <식 8>의 분모항이 커졌기 때문이라 판단된다.

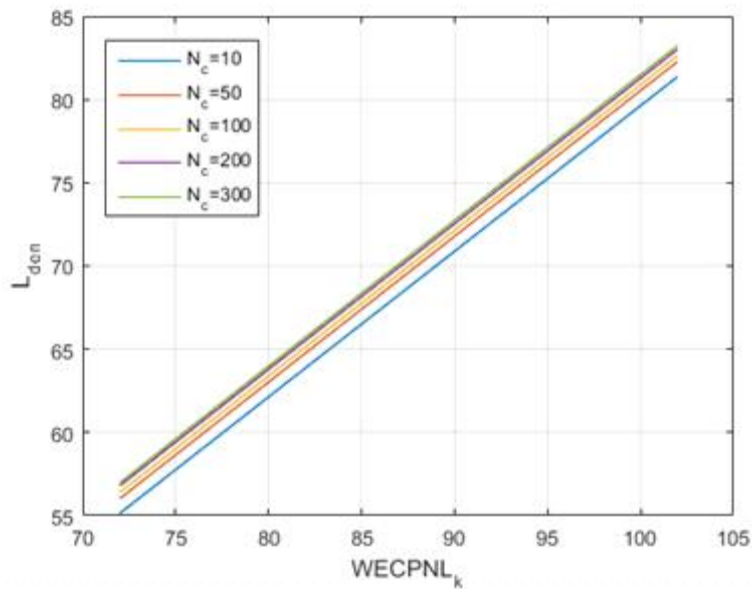


그림 24 운항횟수에 의한 상관관계의 경향①

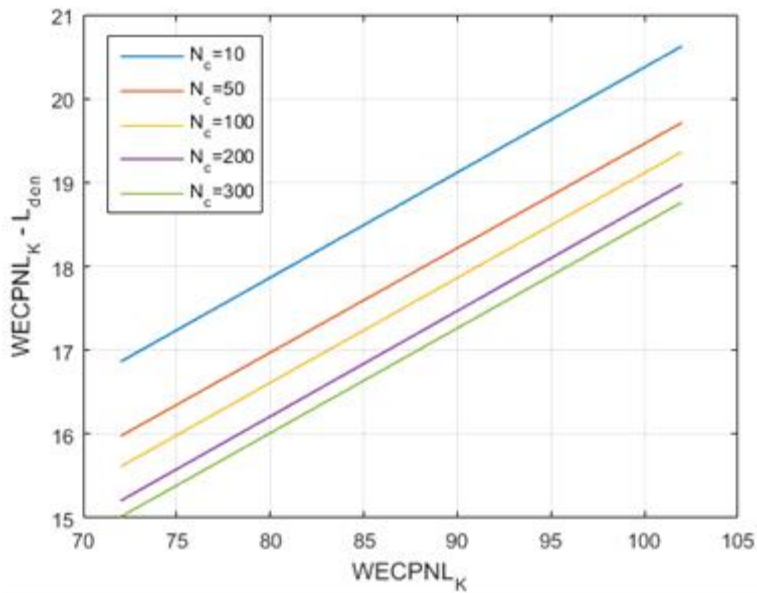


그림 25 운항횟수에 의한 상관관계의 경향②

2.2.2. 회귀분석

2.2.1의 이론적으로 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 상관관계를 유도하였고, 이를 통해 각 변수들이 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 상관관계에 미치는 영향을 알아볼 수 있었다. 그러나 각 변수들은 측정 지점에 따라 그 값이 다르므로 정확한 환산을 위해서는 <식 8>을 활용할 수 없다. L_{den} 을 평가 단위로 사용하는 국가들의 규제 기준 혹은 환경 기준과의 정량적인 비교와 국내 평가 단위를 $WECPNL_K$ 에서 L_{den} 으로 변경할시 소음도 기준 제정을 위한 환산식은 1차식 형태의 단순한 환산식이어야 한다.

따라서 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 환산식 유도라는 목적을 위해 단순 회귀분석을 수행하였으며, 앞서 이론적으로 확인한 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 상관관계가 선형이라는 것에 근거하여 본

회귀분석은 선형모델을 사용하였다.

2.1.2에 나타낸 10개 공항 인근 105개 지점에서 측정된 소음도 데이터를 이용하였으며, 민간 공항과 민·군 공용공항은 월 평균 소음도를, 데이터가 적은 군사 공항은 주 평균 소음도를 통하여 회귀분석을 실시하였다.

공항별 회귀분석 결과를 <그림 26>과 <표 11>에 나타내었다.

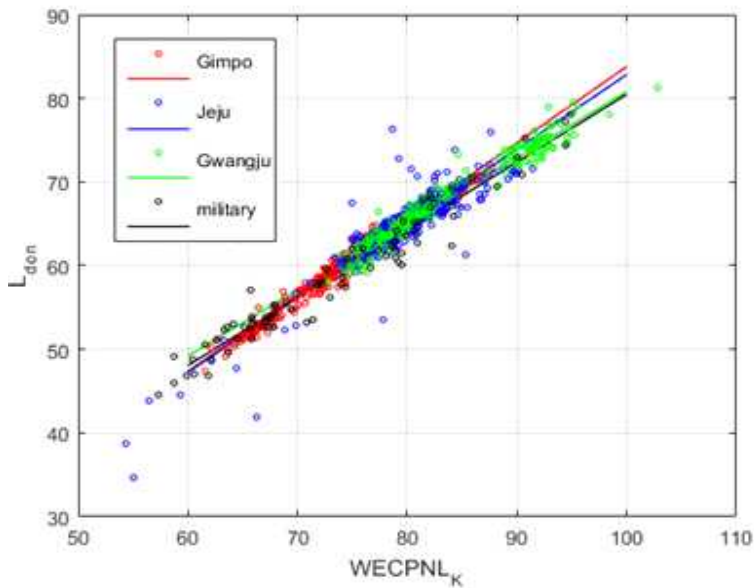


그림 26 회귀분석 결과

공항	회귀식	R^2	β	p
김포	$L_{den} = 0.91 \times WECPNL - 7.22$	0.972	0.986	0.000
제주	$L_{den} = 0.89 \times WECPNL - 6.17$	0.829	0.910	0.000
광주	$L_{den} = 0.79 \times WECPNL + 1.81$	0.954	0.977	0.000
군사	$L_{den} = 0.81 \times WECPNL - 0.52$	0.951	0.975	0.000

표 11 회귀분석 결과

R^2 , β , p-value로 판단할 때, 본 회귀분석 결과는 $WECPNL_K$ 과

L_{den} 의 상관관계를 잘 나타내며, 선형모델이 적합하다는 것을 알 수 있다.

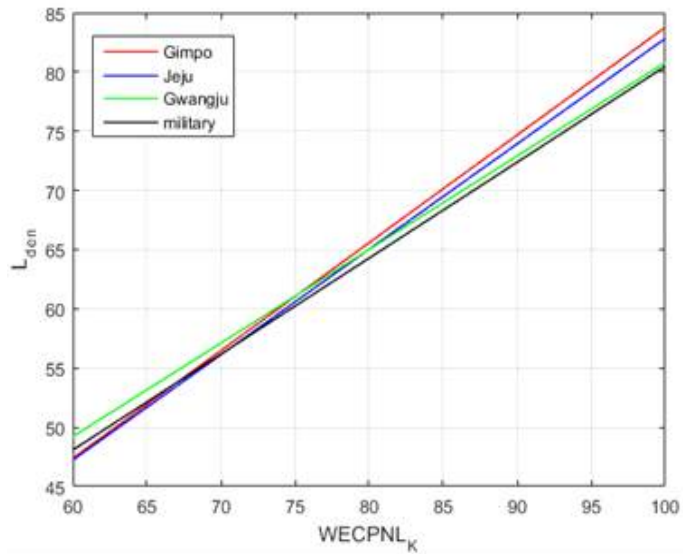


그림 27 공항별 회귀분석 결과 비교①

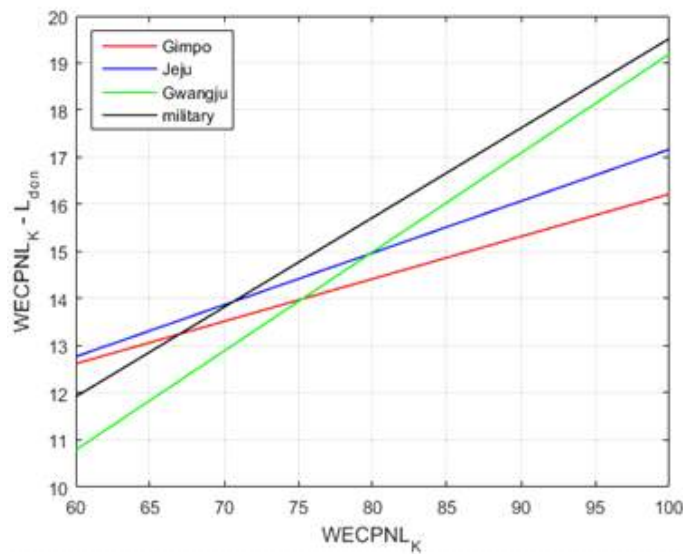


그림 28 공항별 회귀분석 결과 비교②

모든 공항에서 $WECPNL_K$ 이 증가함에 따라 L_{den} 이 증가하였으며, $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 차이 또한 증가하였다. 공항별로 살펴보면, 고소음도 지역에서 같은 $WECPNL_K$ 일 때 김포 공항이 가장 높은 L_{den} 을 보였으며 다음으로는 제주 공항, 광주 공항, 군사 공항의 순서였다.

민간 공항인 김포 공항과 제주 공항이 유사한 결과를 보이고 민·군 공용 공항인 광주 공항과 군용 공항이 비슷한 경향을 보이는 것은 2.1.3에 기술한 것처럼 민간공항과 군사 공항에서 발생하는 항공기 소음 이벤트 형태의 차이로 인한 것으로 판단된다.

80 $WECPNL_K$ 이상일 때 $WECPNL_K$ 와 L_{den} 의 차이는 민간 공항보다 군용 공항이 큰 것으로 나타났는데, 그 이유는 군용 공항에서 발생하는 이벤트의 중첩으로 인해 $WECPNL_K$ 에 지속시간 보정이 추가되기 때문이다.

본 회귀식을 통해 국내 소음도 기준과 해외의 소음도 기준을 비교할 수 있다. 우리나라에서 항공기소음 대책지역을 구분하는 소음도 기준인 75 $WECPNL_K$ 을 L_{den} 기준 소음도로 환산하면, 김포 공항과 제주 공항의 회귀식을 이용한 결과는 각각 61.03 dB와 60.58 dB이다. 이 결과로 비추어 볼 때, 미국의 환경기준인 65 dB에 비해 4 dB이상 강화된 기준이며, 일본의 62 dB에 비해서도 1 dB이상 강화된 기준임을 알 수 있다. 일본과는 동일한 75 $WECPNL_K$ 임에도 불구하고 L_{den} 으로 환산했을 때 더 엄격한 기준을 적용하고 있었던 이유는 일본과 달리 우리나라는 30초 이상의 지속시간을 갖는 항공기소음에 대해 보정을 적용하기 때문이다. 이로 인해 같은 항공기소음일지라도 일본에 비해 우리나라는 더 높은 $WECPNL_K$ 으로 평가하고 있었던 것이다.

2.2.3. 이론적 상관관계와 회귀분석 결과 비교

2.2.1의 이론 환산식을 통한 경향 예측 결과와 2.2.2의 회귀 분석 결과를 <그림 29>에 나타내었다.

삼각형 형태의 이벤트 형상을 가정한 모델의 예측 결과는 회귀 분석 결과보다 $WECPNL_K$ 와 L_{den} 의 차이를 높게 예측했다. 이는 삼각형 형태의 모델은 에너지가 높은 최고소음도 부근이 불룩한 실제 이벤트보다 k 를 낮게 계산하기 때문이다.

각 공항의 회귀분석 결과와 이론적으로 예측한 결과를 비교해 보면 민간 공항과 비교적 기울기가 유사한 값을 나타내지만 군사 공항과는 차이가 있음을 확인할 수 있다. 이러한 차이의 원인은 본 연구에서 가정한 모델이 군사 공항에서 발생하는 이벤트의 중첩을 고려하지 못하기 때문이라 여겨진다.

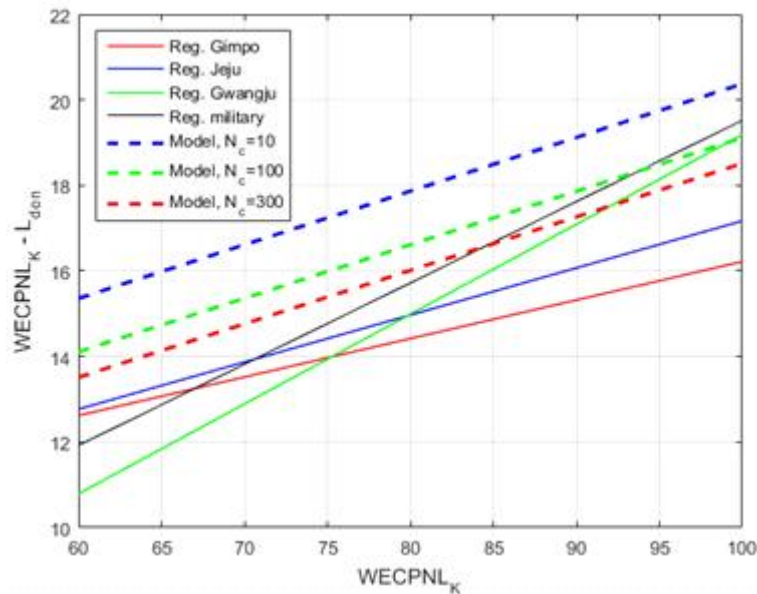


그림 29 이론적으로 예측한 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 상관관계
경향성과 회귀분석 결과 비교

3. 결 론

본 연구에서는 공항 인근에서 발생하는 항공기 소음으로 인한 분쟁을 해소하는데 기여하고 관련 정책을 수립하는데 이바지하기 위해 항공기소음 평가단위의 적절성을 비교·검토하였으며 평가단위간 정량적인 비교를 위해 상관관계를 도출하였다.

최고 소음도 기준형 단위인 $WECPNL_K$ 은 군용 항공기에 의해 발생하는 소음 이벤트의 중첩을 평가하기에는 다소 부적절하므로, 군용 공항의 비율이 높은 국내 상황을 고려할 때 항공기소음 평가단위로 적합하지 못하다. 또한 30초 미만의 지속시간을 갖는 항공기소음에 대해서는 그 지속시간을 고려하지 못하며, 지속시간이 30초 부근일 경우, 오히려 지속시간을 고려하기 위한 보정항의 불연속으로 인해서 비슷한 소음임에도 불구하고 1.4 $WECPNL_K$ 의 차이를 발생한다. 반면 에너지 등가원리 기준형 단위인 L_{den} 은 다양한 항공기소음 패턴을 고려할 수 있으며, 지속시간을 반영한 항공기소음 평가가 가능하다. 다만 기타 소음원에 의한 소음까지 계산하는 $Total L_{den}$ 은 국내 공항이 배경소음도가 높은 도심 인근에 위치하고 있다는 점을 고려할 때 부적절할 소음도를 산출할 우려가 있기에 이벤트 개념을 적용한 $Event L_{den}$ 을 사용하는 것이 바람직하다.

$WECPNL_K$ 과 $Event L_{den}$ 의 상관관계를 이론적으로 유도하였으며, 그 식을 통해 각 변수들이 상관관계에 미치는 영향을 확인하였다. 각 이벤트의 최고소음도 평균이 증가함에 따라 $WECPNL_K$ 과 $Event L_{den}$ 의 차이는 증가하였다. 같은 최고소음도일 때 지속시간이 길수록, 운항횟수가 많을수록 $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 차이는 감소하였다.

$WECPNL_K$ 과 $Event L_{den}$ 의 환산식을 도출하기 위해 10개 공항

인근 105개 지점에서 측정된 소음 데이터를 이용하여 단순회귀분석을 실시하였다. 이론적으로 유도한 상관관계와 같이 $WECPNL_K$ 이 증가할수록 L_{den} 은 증가하였으며, $WECPNL_K$ 과 L_{den} 의 차이도 증가하였다. 항공기의 기종과 운행 패턴으로 인해 민간공항인 제주 공항과 김포 공항이, 군사 공항과 민·군 공용 공항인 광주 공항이 유사한 경향을 보였다. 같은 $WECPNL_K$ 일 때 김포 공항의 L_{den} 이 가장 높았으며 다음으로는 제주 공항, 광주 공항, 민간 공항의 순서였다. 그 원인은 군용 공항에서 발생하는 항공기소음의 지속시간이 민간 공항에서 발생하는 항공기소음보다 길어 지속시간 보정항이 $WECPNL_K$ 에 추가되기 때문으로 판단된다. 회귀분석을 통해 도출된 환산식으로 국내 항공기소음 대책지역 소음 기준인 75 $WECPNL_K$ 을 L_{den} 으로 환산하여 다른 나라의 소음도 기준과 비교해본 결과, 우리나라는 다른 나라에 비해 강화된 기준을 적용하고 있음을 알 수 있었다.

본 연구에서는 항공기소음 평가단위를 구체적인 지표에 근거해 비교·검토하였고 많은 데이터를 이용해 신뢰도 높은 단위간 환산식을 도출했다는 점에서 의의가 있다. 그러나 평가단위간 비교에 있어서 인지적인 측면에서의 검토는 이루어지지 않아 이를 고려한 후속 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한 이론적 상관관계를 도출하기 위해 가정한 삼각형 형태의 이벤트는 군용 공항에서 발생하는 이벤트의 중첩을 적절히 모사하지 못하는 한계점은 보완되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 한국공항공사, <http://www.airport.co.kr>
- [2] 이준호, “항공기 소음 측정지수에 대한 비교연구” 한국항공진흥, 2010, 103-121
- [3] 이준호, “항공기 소음 실측자료를 이용한 우리나라 WECPNL 단위의 평가” 한국환경과학회 정기학술발표회 논문집(제 20권), 2011, 48-51
- [4] Hideki Tachibana, William W. Lang, “Survey of Legislation, Regulations, and Guidelines for Control of Community Noise,” Comment Draft for the Final Report 2008-Y of the I-INCE Technical Study Group on Noise Policies and Regulations(TSG 3), 2007
- [5] I.Yamada, “Toward the use of L_{Aeq} metrics as an airport noise index in Japan” Inter Noise, 2007
- [6] 강선준, “항공기소음 평가단위 WECPNL-Lden-Leq간의 상관관계에 관한 연구”, 석사학위논문, 2013.
- [7] 박재식, “항공기소음평가단위 WECPNL-Lden의 상관관계에 관한 연구 : 군용공항을 중심으로 한국소음진동공학회 학술대회논문집, 2015, 386-388
- [8] International Civil Aviation Organization, “Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation, Environmental Protection Volume I: Aircraft Noise” 4th Edition, 2005, APP 2-9 ~ APP 2-13

- [9] ICAO Committee on Aviation Environmental Protection, 2007, "Environmental Technical Manual on the Use of Procedures in the Noise Certification of Aircraft base on Doc 9501," 3rd Edition, APP 4-6
- [10] 항공정보포탈시스템, <http://www.airportal.go.kr>

Abstract

Comparison and Correlation Analysis of Aircraft Noise Assessment Units

Kyoung Beom Kim

Department of Mechanical and Aerospace Engineering
The Graduate School
Seoul National University

In this study, Korean $WECPNL_K$ is compared with $Total L_{den}$ and $Event L_{den}$, which is series of L_{eq} , which are used in many countries for evaluation of aircraft noise. Also, in order to quantitatively compare with the aircraft noise standard of the foreign country and to covert the noise assessment unit, the theoretical correlation is derived from equation of $WECPNL_K$ and $Event L_{den}$ and the conversion equation is derived by regression analysis.

Aircraft noise assessment units are examined in terms of reflection of various noise patterns, background noise level and duration. $WECPNL_K$ is not suitable for evaluating the overlapped event of military aircraft noise and it is confirmed that the noise level of the receiver is not properly evaluated when the aircraft noise duration is less than 30 seconds. In addition, the discontinuous correction for the duration time in 30 seconds may cause an inaccurate noise level to be

calculated. $Total L_{den}$ can not adequately evaluate aircraft noise due to background noise and, overall, $Event L_{den}$ is the most suitable noise assessment unit in Korea.

Theoretical correlation between $WECPNL_K$ and $Event L_{den}$ is derived from their equation. By assuming the triangular shape of the aircraft noise event, the influence of average of maximum noise level, the number of flights and the rate of noise level on the correlation between $WECPNL_K$ and $Event L_{den}$ is confirmed.

Regression analysis is performed using noise data of 80 points near 7 military airports and 25 points measured from automatic measuring system near Gimpo airport, Jeju airport and Gwangju airport. Results of regression analysis are similar for usage of airports and consistent with the predicted results.

Keywords : aircraft noise index, aircraft noise assessment unit, 항공기소음 평가단위 환산, $WECPNL$, L_{eq} , L_{den}

Student Number : 2015-22729